

Trabajo de fin de grado

Ingeniería de la Energía

Análisis energético de una vivienda unifamiliar

Autor: José Manuel Mesa Casas

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

Dpto. Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de la Energía

Análisis energético de una vivienda unifamiliar

Autor:

José Manuel Mesa Casas

Tutor:

Francisco Javier Pino Lucena

Profesor Titular de Universidad

Dpto. de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2021

Proyecto Fin de Carrera: Análisis energético de una vivienda unifamiliar

Autor: José Manuel Mesa Casas

Tutor: Francisco Javier Pino Lucena

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

*A mi familia,
en especial a mi madre*

En un mundo en el que los recursos son limitados, el aumento del consumo energético y el progreso tecnológico han traído a la palestra la preocupación por el ahorro y la eficiencia energética, así como el desarrollo y uso por las fuentes de energía renovable.

Esta preocupación en los últimos años está cobrando el carácter de urgencia debido al rumbo que llevamos respecto al cambio climático, la contaminación y el calentamiento global, además del propio agotamiento de los recursos mencionado con anterioridad.

Enfocado en la necesidad de un cambio de modelo energético y optimización de este, el siguiente trabajo de fin de grado trata de una auditoría energética de una vivienda unifamiliar situada en la Costa del Sol, concretamente en Estepona, apoyado en el software EnergyPlus y SketchUp.

Mediante la simulación en EnergyPlus se comparará el modelo base de la vivienda con respecto al modelo con las medidas de ahorro energético añadidas, con objeto de observar el efecto que tienen sobre los resultados y si estas son desechables o recomendables. Se agregará además el presupuesto de dichas medidas para clarificar la viabilidad para llevarlas a cabo.

Abstract

In a world in which resources are limited, the increase in energy consumption and technological progress have brought to the fore the concern about energy saving and efficiency, as well as the development and usage of renewable energy sources.

This matter is becoming more and more urgent as time goes by due to the course we are taking regarding climate change, pollution and global warming, in addition to the depletion of the aforementioned resources.

Focused on the need for a change in the energy model and its optimization, the following Final Degree Project deals with an Energy Audit of a single-family dwelling based on the Costa del Sol, specifically in Estepona, supported by the EnergyPlus and SketchUp software.

Through the simulation in EnergyPlus, the base model of the house will be compared to that of the model with the saving energy measures applied, with the intention of observing the effect they have on the results and if they are disposable or recommendable. The budget for these measures will also be added to clarify the feasibility of carrying them out.

Contenido

Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xviii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1. <i>Objetivo</i>	1
1.2. <i>Antecedentes</i>	1
1.3. <i>Estructura</i>	2
1.4. <i>Software</i>	2
2 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA	4
2.1. <i>Localización</i>	4
2.2. <i>Zona climática</i>	6
2.3. <i>Descripción</i>	7
2.3.1. <i>Epidermis de la vivienda</i>	7
2.3.2. <i>Orientación de la vivienda</i>	9
2.3.3. <i>Zonificación de la vivienda</i>	12
2.4. <i>Características constructivas y condiciones de contorno</i>	16
2.4.1. <i>Cerramientos, composición y propiedades</i>	16
2.4.2. <i>Huecos, composición y propiedades</i>	24
2.4.3. <i>Elementos de sombra</i>	28
2.5. <i>Cargas internas</i>	30
2.5.1. <i>Ocupación</i>	30
2.5.2. <i>Ventilación</i>	35
2.5.3. <i>Iluminación</i>	36
2.5.4. <i>Masa interna</i>	37
2.5.5. <i>ACS</i>	38
2.5.6. <i>Equipamiento eléctrico</i>	38
2.5.7. <i>Calendario de simulación</i>	44
2.6. <i>Climatización</i>	46
2.7. <i>Conclusión general</i>	47
3 MODELO TÉRMICO BASE	48
4 ANÁLISIS DE MEDIDAS DE AHORRO	56
4.1. <i>MAE 1: Se añade un sistema de aislamiento térmico exterior (SATE)</i>	56
4.2. <i>MAE 2: Se añade mejora de las ventanas</i>	58
4.3. <i>MAE 3: Se añade free cooling nocturno</i>	60
4.4. <i>MAE 4: Se añaden toldos</i>	62

<i>4.5. MAE 5: Se añaden equipos con mayor eficiencia</i>	<i>64</i>
<i>4.6. MAE 6: Se añaden regletas</i>	<i>68</i>
<i>4.7. MAE 7: Cambio de luces</i>	<i>70</i>
5 CONCLUSIONES	72
Bibliografía	74
Anexos	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas climáticas de la provincia de Málaga.	7
Tabla 2. Composición de la vivienda.	9
Tabla 3. Zonificación de la vivienda.	12
Tabla 4. Cerramientos de la vivienda.	17
Tabla 5. Composición suelo planta baja.	19
Tabla 6. Composición suelo entreplanta.	19
Tabla 7. Composición del tejado.	20
Tabla 8. Composición muro exterior.	20
Tabla 9. Composición muro interior.	21
Tabla 10. Propiedades de los materiales de los cerramientos.	22
Tabla 11. Propiedades de las puertas.	24
Tabla 12. Vidrio que compone la puerta de cristal.	24
Tabla 13. Tipos de marcos de la vivienda.	26
Tabla 14. Vidrios de toda la vivienda.	27
Tabla 15. Nivel de actividad.	32
Tabla 16. Schedule de ocupación e iluminación.	34
Tabla 17. Valores de permeabilidad del hueco.	35
Tabla 18. Inventario de iluminación de la vivienda.	37
Tabla 19. Material del mobiliario.	37
Tabla 20. Masa interna.	38
Tabla 21. Facturas de la luz 2021.	39
Tabla 22. Inventario equipos habitación 3.	40
Tabla 23. Inventario equipos habitación 2.	41
Tabla 24. Inventario equipos habitación 1.	41
Tabla 25. Inventario equipo baños.	42
Tabla 26. Inventario equipo salón.	42
Tabla 27. Inventario equipo cocina.	43
Tabla 28. Inventario equipo entrada y pasillos.	44
Tabla 29. Calendario simulación.	46
Tabla 30. Variables de salida "Output:Variable".	48
Tabla 31. Tablas mensuales de salida "Output:Table:Monthly".	50
Tabla 32. Consumos energéticos de la vivienda por zonas.	51
Tabla 33. Consumos energéticos de la vivienda por meses.	51
Tabla 35. Consumos eléctricos de la vivienda por zonas.	53
Tabla 36. Consumos eléctricos de la vivienda por meses.	54

Tabla 37. Simulación con MAE 1.	58
Tabla 38. Ahorro con MAE 1.....	58
Tabla 39. Simulación con MAE 2.	60
Tabla 40. Ahorro con MAE 2.....	60
Tabla 41. Simulación con MAE 3.	62
Tabla 42. Ahorro con MAE 3.....	62
Tabla 43. Simulación con MAE 4.	64
Tabla 44. Ahorro con MAE 4.....	64
Tabla 45. Arcón congelador actual.	65
Tabla 46. Comparativa arcón congelador.	66
Tabla 47. Mini horno actual.	66
Tabla 48. Comparativa mini horno.....	67
Tabla 49. Freidora actual.....	67
Tabla 50. Comparativa freidora.....	68
Tabla 51. Ahorro MAE 5.	68
Tabla 52. Consumo de equipos base.	69
Tabla 53. Ahorro con MAE 6.....	70
Tabla 54. Mejora luces MAE 7.	70
Tabla 55. Ahorro con MAE 7.....	71
Tabla 56. Resumen de las mejoras propuestas.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Zona donde se encuentra el municipio.	4
Ilustración 2. Ubicación de la vivienda dentro de Estepona.	5
Ilustración 3. Ubicación exacta de la vivienda adosada.	6
Ilustración 4. Datos catastrales de la vivienda, superficie gráfica (azul) y superficie construida (roja).	8
Ilustración 5. Diferencia entre hemisferios de la incidencia del sol.	10
Ilustración 6. Vivienda en el norte de Europa.	10
Ilustración 7. Vivienda en el sur de Europa.	11
Ilustración 8. Orientación de la vivienda.	11
Ilustración 9. Planos planta baja de la vivienda.	13
Ilustración 10. Modelo en SketchUp de la planta baja.	13
Ilustración 11. Planos primera planta de la vivienda.	14
Ilustración 12. Modelo en SketchUp de la primera planta.	14
Ilustración 13. Planos segunda planta de la vivienda.	15
Ilustración 14. Modelo en SketchUp de la segunda planta.	15
Ilustración 15. Modelo completo en SketchUp. Vista desde S-E.	16
Ilustración 16. Modelo completo en SketchUp. Vista desde N-O.	16
Ilustración 17. Simplificación del modelo para el tejado.	17
Ilustración 18. Muros exteriores e interiores de la vivienda.	18
Ilustración 19. Suelos y cubierta de la vivienda.	18
Ilustración 20. Shading control.	25
Ilustración 21. Propiedades de la persiana.	25
Ilustración 22. Tipos de divisores.	26
Ilustración 23. Propiedades de los marcos.	27
Ilustración 24. Estructura de sombreado 1 a.	28
Ilustración 25. Estructura de sombreado 1 b.	29
Ilustración 26. Estructura de sombreado 2 a.	29
Ilustración 27. Estructura de sombreado 2 b.	29
Ilustración 28. Estructura de un objeto Schedule de ocupación.	31
Ilustración 29. Schedule:Constant.	32
Ilustración 30. Clase ocupación.	33
Ilustración 31. Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica.	35
Ilustración 32. Tipo de luminaria.	36
Ilustración 33. Valores térmicos aproximados.	36
Ilustración 34. Desglose factura de la luz abril 2021.	38
Ilustración 35. Calendario de simulación de la vivienda.	45

Ilustración 36. Cargas por horas de calefacción y refrigeración (W).	52
Ilustración 37. Gasto eléctrico por categoría.	54
Ilustración 38. Gasto eléctrico por meses.	55
Ilustración 39. Gasto eléctrico por meses y categorías.	55
Ilustración 40. Perfiles de soporte.	56
Ilustración 41. Espigas y placas.	57
Ilustración 42. Ventana antigua.	59
Ilustración 43. Ventana nueva.	59
Ilustración 44. Free cooling nocturno.	61
Ilustración 45. Toldos fachada este.	63
Ilustración 46. Toldos fachada oeste.	63
Ilustración 47. Arcón congelador para MAE 5.	65
Ilustración 48. Clase de eficiencia energética del arcón congelador MAE 5.	65
Ilustración 49. Minihorno para MAE 5.	66
Ilustración 50. Freidora para MAE 5.	67
Ilustración 51. Regleta grande con interruptores individuales.	68
Ilustración 52. Regleta pequeña con interruptor general.	69
Ilustración 53. Plano perfil de la vivienda.	76
Ilustración 54. Plano planta baja de la vivienda.	76
Ilustración 55. Plano primera planta de la vivienda.	77
Ilustración 56. Plano segunda planta de la vivienda.	77
Ilustración 57. Exterior de la vivienda en SketchUp.	78
Ilustración 58. Fotografías del exterior de la vivienda.	78
Ilustración 59. Fachada este de la vivienda.	79
Ilustración 60. Fachada oeste de la vivienda.	80
Ilustración 61. Planta baja en SketchUp.	81
Ilustración 62. Primera planta en SketchUp.	81
Ilustración 63. Segunda planta en SketchUp.	82
Ilustración 64. Fotografías de la entrada de la vivienda.	82
Ilustración 65. Fotografía del salón 1.	83
Ilustración 66. Fotografía del salón 2.	83
Ilustración 67. Fotografía del ventanal del salón.	83
Ilustración 68. Fotografía baño 1.	84
Ilustración 69. Fotografías de la cocina.	85
Ilustración 70. Fotografías del pasillo 1 y escaleras.	86
Ilustración 71. Fotografías del pasillo 2.	87
Ilustración 72. Fotografía del baño 2.	88

Ilustración 73. Fotografía de la habitación 1.....	89
Ilustración 74. Fotografía de la habitación 2.....	90
Ilustración 75. Fotografía de la habitación 3.....	91
Ilustración 76. Bombilla de 5W (Baño 1).	92
Ilustración 77. Luces del baño 1 con 3 bombillas de 5W.....	92
Ilustración 78. Lampara de la cocina (8W).....	93
Ilustración 79. Bombilla de 7W (Baño 2, salón, baño 2 y habitación 3).	93
Ilustración 80. Lampara 1 del salón con 5 bombillas de 7W cada una.	94
Ilustración 81. Lampara 2 del salón con 3 bombillas de 7W cada una.	94
Ilustración 82. Bombilla de 4,5W (Baño 2).	95
Ilustración 83. Luz de 18W de la habitación 2.	95
Ilustración 84. Luz de 20W de la habitación 1.	96
Ilustración 85. Lampara con bombillas de 7W de la habitación 3.	96
Ilustración 86. Cortadora.....	97
Ilustración 87. Exprimidor.	97
Ilustración 88. Freidora.	98
Ilustración 89. Generador de agua hidrogenada.	98
Ilustración 90. Horno.....	99
Ilustración 91. Microondas.....	99
Ilustración 92. Mini horno.	100
Ilustración 93. Frigorífico.....	100
Ilustración 94. Placa de inducción.	101
Ilustración 95. Thermomix.	102
Ilustración 96. Arcón frigorífico.	103
Ilustración 97. Lavadora.	104
Ilustración 98. Maquinilla y secadora.	104
Ilustración 99. TV de la hab 1.	105
Ilustración 100. Ventilador de la hab 1.....	105
Ilustración 101. Máquina de coser.	106
Ilustración 102. Plancha.	106
Ilustración 103. TV de la hab 2.	106
Ilustración 104. Ventilador de torre.	107
Ilustración 105. Flexo y cargador.....	107
Ilustración 106. Ordenador portátil.....	108
Ilustración 107. TV 1 de la hab 3.....	108
Ilustración 108. TV 2 de la hab 3.....	108
Ilustración 109. Ventilador de la hab 3.....	109

Ilustración 110. Equipos de audio y video del salón.	109
Ilustración 111. Ordenador de sobremesa del salón.	109
Ilustración 112. TV del salón.	110

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivo

El presente trabajo trata de un análisis energético realizado a una vivienda adosada unifamiliar, situada en el municipio de Estepona, provincial de Málaga. Dicho trabajo viene dentro del marco de obtención del título de graduado en Ingeniería de la Energía por las universidades de Sevilla y Málaga.

Además del propio análisis energético de la vivienda, que pretende dar a conocer como funciona termicamente la vivienda, se va a proponer tras el estudio del modelo y sus resultados, las medidas de ahorro energetico (MAE) oportunas, con objeto de llevar a cabo mejoras al caso base de la vivienda.

Dicho estudio agrupará la información respecto a la orientación de la vivienda, características constructivas, cerramientos, cargas internas, etc. Además de las características propias de la vivienda, tambien se analizarán los consumos de los equipos electricos, perfiles de uso y facturas.

Una vez realizada la recopilación de datos sobre la vivienda y su uso, se llevará acabo la construcción de un modelo de simulación energética cuyos resultados nos permitan analizar de qué manera esta funcionando la vivienda en el estado actual, y como se pueden plantear medidas de ahorro de cara al futuro, resultando en un edificio más eficiente y que produzca un mayor ahorro a los ocupantes. Por ello, todas las medidas, además de energéticamente, se analizarán desde el punto de vista economico, estimando su periodo de amortización, de cara a ser llevadas a cabo por sus ocupantes.

Todo este estudio se apoyará en tres programas principalmente, además de los propios de edición y elaboración del presente documento:

- El primer programa se trata de SketchUp, que es un programa de modelación y diseño y que se utilizará para llevar a cabo el modelo del edificio, ayudado de su extensión Euclid, que permitirá realizar el esqueleto de la vivienda, con características propias de un edificio funcional. Este primer programa se diferencia esencialmente de un programa de dibujo y diseño como es Autocad en que una figura cúbica, además de simplemente ser un cubo, pasa a ser, por ejemplo, una estancia, un objeto que produce sombreado, o una ventana que deja entrar la luz.
- El segundo programa que se utilizará es EnergyPlus, que es un programa complementario a SketchUp. Además de permitir añadir propiedades al modelo anteriormente creado, realiza la función de simulador de dicho modelo, permitiendo por tanto añadir datos y obtener resultados sobre la vivienda.
- El tercer programa es Dview, un software que trabaja con los archivos de salida, un visualizador de datos que nos permitirá representar y observar gráficamente tablas de datos obtenidas como ficheros de salida de EnergyPlus.

1.2. Antecedentes

Desde la antigüedad, el ahorro y la eficiencia energética han sido unos de los motores de la humanidad, desde los sistemas de regadío, como la construcción de vías y medios de transporte, han buscado realizar trabajos que al ser humano en un principio les pudiesen resultar laboriosos y de cierta dificultad, en un proceso que cada vez se pudiese llevar a cabo con una mayor facilidad, y por tanto con un menor gasto energético y humano.

Además, las limitaciones de materias primas, mano de obra y crisis sociales o económicas han empujado en muchas ocasiones el ingenio humano hacia terrenos de desarrollo que han dependido directa o indirectamente del ahorro y la eficiencia energética.

Conforme respecta a la edificación, se pueden observar estas medidas desde la antigüedad, en construcciones como las llevadas a cabo por civilizaciones tan antiguas como las que habitaban Mesopotamia o Egipto, o en occidente, como las llevadas acabo en la zona del presente estudio, por civilizaciones como el Califato de Córdoba o el Imperio Romano, cuyos vestigios podemos hoy aún seguir observando en zonas como el sur de

España, con sus casas blancas y su particular callejero. Y es que casi nada de lo que hoy se ve, enfocado a la eficiencia y ahorro energético, está ahí y de esa forma, realizada azarosamente. Todo lo que rodea a la forma de vivir del ser humano, ha sido planteado y replanteado multitud de veces, buscando un modelo cada vez más eficiente, con mayor beneficio y menor coste.

En la actualidad, además, esto ha cobrado un carácter de obligatoriedad, en muchos casos como consecuencia de crisis de materias primas, que ha llevado a gobiernos e instituciones a legislar y plantar cara a un problema que cada vez va cobrando mayor importancia como es la eficiencia y el ahorro en el uso de recursos energéticos. Desde el protocolo de Kyoto, llevado a cabo en 1997 por las Naciones Unidas [1] [2] sobre el cambio climático, además de directivas como la 20/20/20 [3] impulsada por la UE sobre el cumplimiento de objetivos climáticos para 2020, hasta la aprobación en España del Código Técnico de la Edificación (CTE) en su RD 314/2006, de 17 de marzo, y que entró en vigor el 29 de marzo de 2006 y que incluye documentos básicos, como el DB-HE de 2013 (actualizado en 2019), que tienen por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias básicas de ahorro energético [4]. Además, el mismo RD 314/2006 ya aconsejaba lo que a posteriori el RD 1027/2007 aprobó sobre el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, que establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y ACS, para conseguir un uso racional de la energía [5].

Este análisis tiene por tanto este marco que lleva a estudiar y evaluar las presentes características energéticas de la vivienda y que pretende promover y fomentar futuras medidas de ahorro y eficiencia energética.

1.3. Estructura

El presente proyecto se va a dividir principalmente en cuatro partes. La primera de ellas, más amplia, va a tratar de recopilar todos los datos sobre la vivienda (Elementos constructivos, cargas internas, etc) para poder elaborar un modelo térmico de la vivienda lo más completo posible. La segunda de las partes es precisamente la simulación térmica del modelo construido mediante SketchUp y EnergyPlus, que será el modelo base, correspondiente a las características actuales de la vivienda y su correspondiente análisis. La tercera de las partes va a tratar de introducir mejoras de ahorro energético, añadiéndolas al modelo base y simulando el modelo, analizando el resultado de estas y su impacto. En último lugar, se va a proceder a un resumen y conclusión del proyecto, analizando resultados globales y el proceso para llegar a ellos.

1.4. Software

- I. SketchUp: en su versión 2017 y desarrollado por Last Software, aunque actualmente perteneciente a la empresa Trimble. Es un programa de modelación y diseño 3D utilizada para llevar a cabo el modelo del edificio, ayudado de su extensión Euclid, y que permitirá realizar la estructura base, con características propias de un edificio funcional.
- II. EnergyPlus: en su versión 8.9.0, es un programa desarrollado por el Departamento de la Energía de los Estados Unidos. Permite darle propiedades y características al modelo de la vivienda, desde datos constructivos, hasta de climatización, electricidad y ocupación. Además, es un programa que permite realizar una simulación anual y que emita un archivo de extensión compatible con Excel con los resultados. Este programa es el que va a permitir observar los resultados del modelo inicial y posteriormente con el modelo final y comprobar como funcionan ambos.
- III. Dview: en su versión 1.0.0, el programa está desarrollado por D-Link, es un visualizador de datos que nos permitirá representar y observar gráficamente tablas de datos obtenidas como ficheros de salida de EnergyPlus.
- IV. AutoCAD: en su versión 2021, es un programa de dibujo digital, desarrollado por la empresa Autodesk. El programa va a permitir realizar los planos de la vivienda que se incluirán en el presente trabajo.
- V. Excel: es un programa del paquete de Microsoft Office, desarrollado por la misma empresa. Es una hoja de cálculo que va a permitir recoger los datos de la simulación realizada por EnergyPlus.
- VI. Word: es un programa del paquete de Microsoft Office, desarrollado por la misma empresa. Es un

programa de edición de texto, que va a permitir desarrollar y editar el presente trabajo. Además, con Windows 10, llega con una extensión llamada Microsoft print to pdf, que nos permitirá exportar un documento en dicho formato.

2 DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

2.1. Localización

La ubicación de la vivienda sobre la que se realiza el estudio se encuentra en la zona costera del sur de España denominada Costa del Sol, dentro de la provincia de Málaga y cercana a la provincia de Cádiz. El municipio en el que está ubicada concretamente es Estepona.

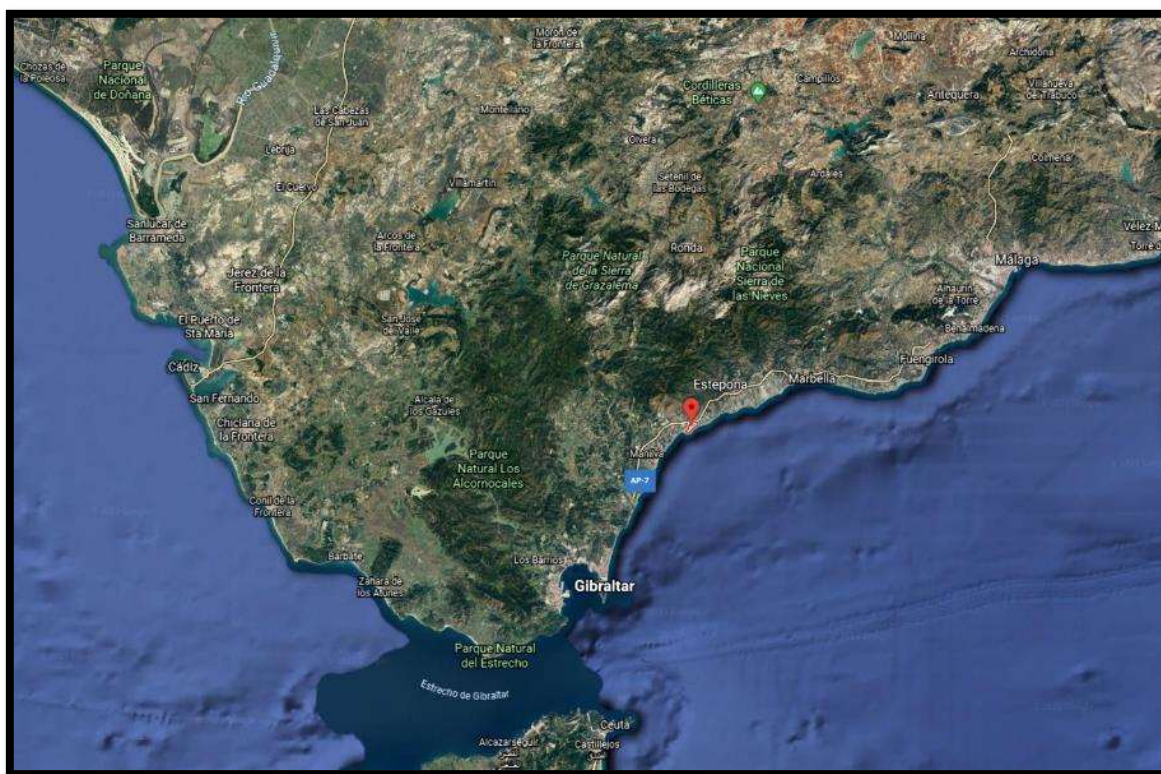


Ilustración 1. Zona donde se encuentra el municipio.

Se utiliza la herramienta Google Earth para mostrar la ubicación de la vivienda, la zona en la que se encuentra, así como obtener sus coordenadas geográficas. En la *Ilustración 1* se muestra la zona donde se encuentra la vivienda (con la que se podrá hacer una idea del tipo de clima que se tiene), en la *Ilustración 2* se muestra la ubicación de la vivienda dentro del propio municipio y en la *Ilustración 3* se muestra la vivienda concretamente desde el plano cenital de la misma.



Ilustración 2. Ubicación de la vivienda dentro de Estepona.

La vivienda se encuentra en la C/ Gibraltar 45, una calle que discurre de norte a sur y donde la vivienda (adosada), se encuentra ubicada entre otra fila de viviendas adosadas (del mismo tipo y con patios adyacentes) y un edificio de viviendas de unos 10-15 metros superior a la vivienda y situado al este del transcurso de la calle. Todo ello observable en la anteriormente mencionada *Ilustración 3*.

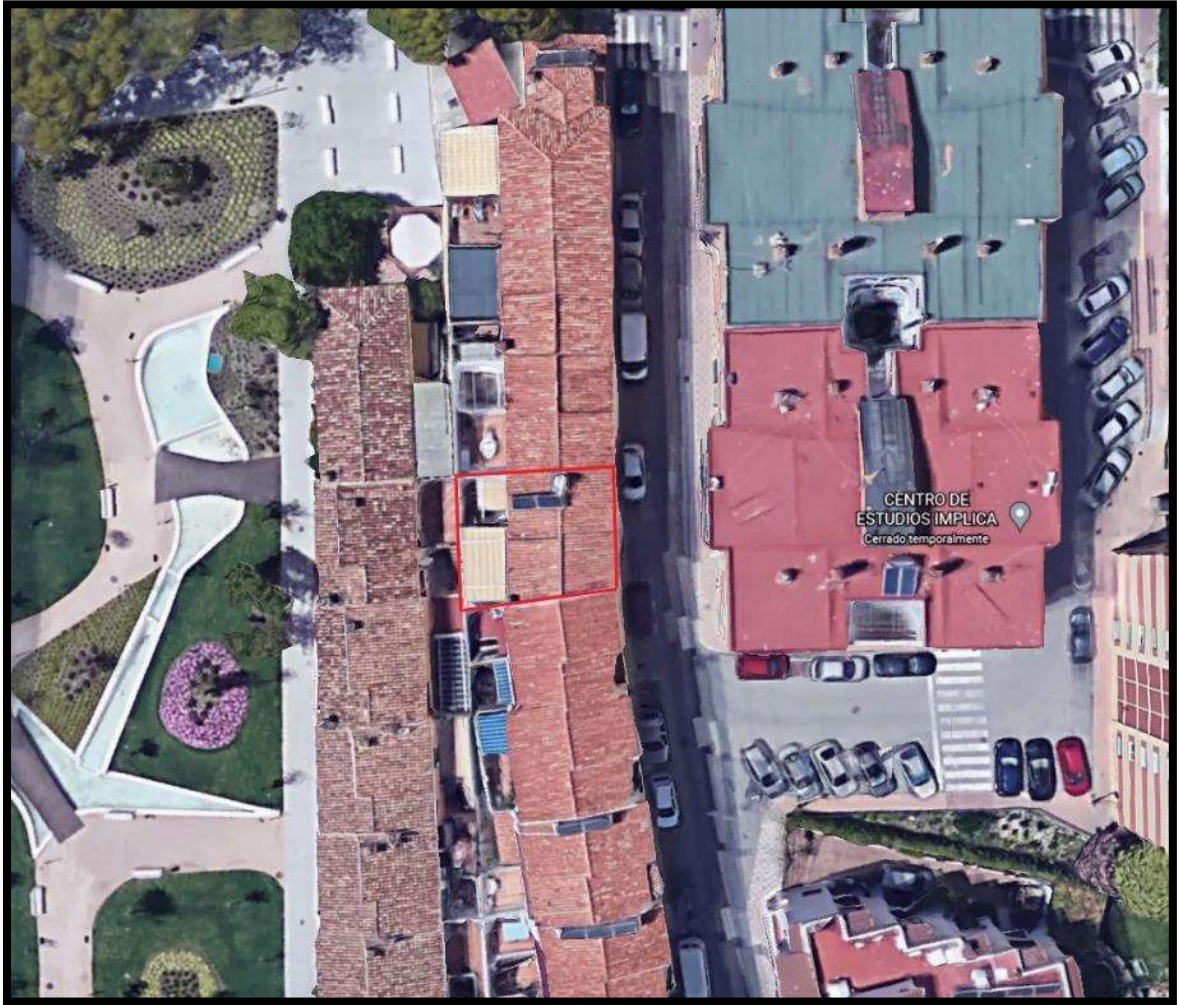


Ilustración 3. Ubicación exacta de la vivienda adosada.

Las coordenadas geográficas de la vivienda son, por tanto:

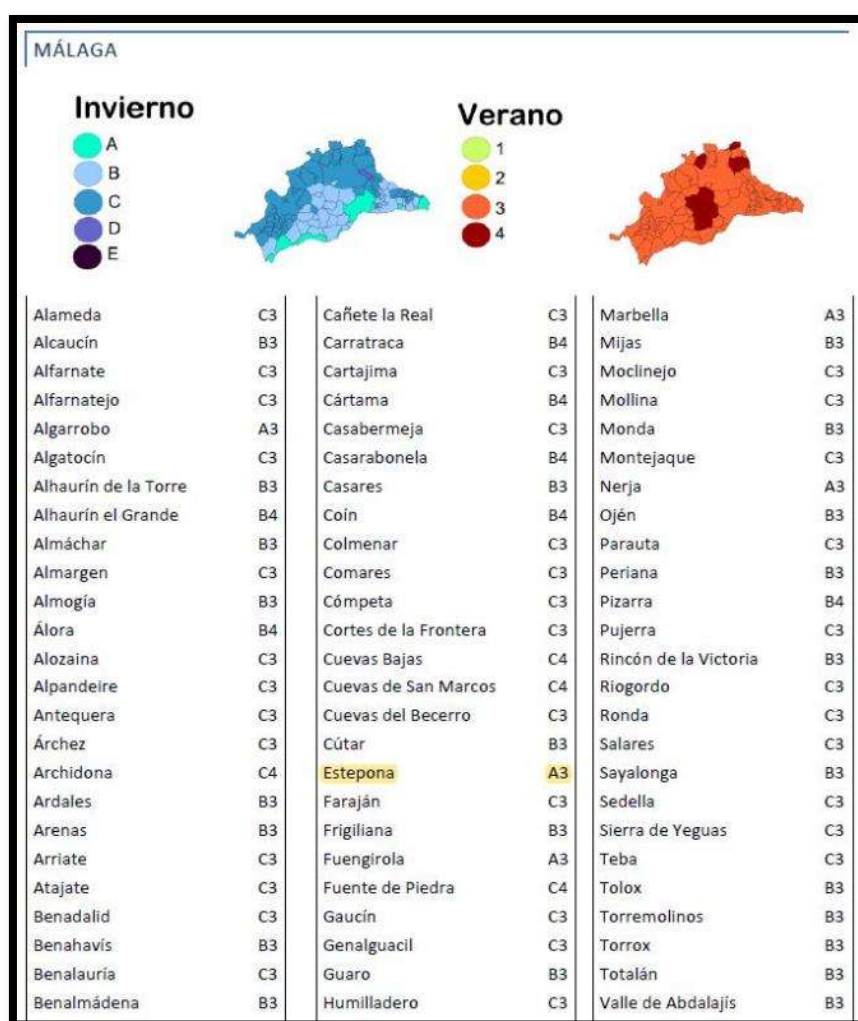
- Longitud (grados): 5.1461326 W
- Latitud (grados): 36.4309355 N
- Altitud (m): 35

El archivo climático de la localización se obtiene de la web de EnergyPlus [21].

2.2. Zona climática

El CTE HE 1 (CTE-DR/007/09) define y tabula (*tabla 1*) distintas zonas climáticas mediante una letra (A-E) para el invierno y un número (1-4) para el verano. Dependiendo de la zona climática en la que se encuentra la vivienda, esta demandará en mayor o menor medida energía. La demanda de estos estará limitada por tanto en función de la localidad en la que se ubican y del uso específico que se dé del edificio.

Tabla 1. Zonas climáticas de la provincia de Málaga.



2.3. Descripción

Un compendio de características de la vivienda y la función de cada una de sus partes que son necesarias para conocer las condiciones del modelo base y su correcto modelaje en el software.

2.3.1. Epidermis de la vivienda

En este apartado se recogen tanto las medidas exteriores como interiores de la misma, un plano, elaborado mediante la toma de datos in situ y los datos catastrales. Todo esto se puede visualizar en el *Anexo I*.

La vivienda está conformada interiormente por tres habitaciones, tres cuartos de baño, un salón, una cocina, un garaje y un trastero y exteriormente por una terraza y un patio. Todo ello dividido en tres plantas, de las cuales estaremos interesados en acondicionar energéticamente únicamente las secciones de las dos plantas superiores y que además sean interiores. Por tanto, quedan excluidas la terraza, el patio, el garaje y el trastero. Ver en la *Ilustración 4*.

De la información obtenida mediante la web de la Sede del Catastro del Ministerio de Hacienda (<https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/>), que se puede visualizar el informe completo en el *Anexo I*, se obtienen estos datos:

- Localización: C/ GIBRALTAR 45, 29680, ESTEPONA (MÁLAGA)
- Clase: URBANO

- Uso principal: Residencial
- Superficie construida: 192 m² (divididos en tres plantas de 64m² cada una)
- Año construcción: 1985
- Parcela (superficie gráfica): 94 m²



Ilustración 4. Datos catastrales de la vivienda, superficie gráfica (azul) y superficie construida (roja).

Como se muestra en la *Ilustración 4*, la superficie roja corresponde a los 64m² de la planta del edificio, y el resto de la superficie hasta el total de la superficie grafica corresponde a la terraza y el patio. En este apartado cabe destacar una modificación que se realizó a posteriori, aunque sin importancia para este proyecto, que es la construcción del trastero en parte de esta superficie y que provoca que la terraza este en su planta superior y el patio en su misma planta (como se puede observar en el *Anexo II*).

Como se ha mencionado anteriormente, la vivienda está dividida en tres plantas, de cuyas estancias y superficies útiles son las siguientes:

Tabla 2. Composición de la vivienda.

Estancia	Superficie útil (m ²)	Planta	Superficie útil total (m ²)
Entrada	12.18	Baja	12.18
Pasillo 1	8.75	Primera	53.12
Baño 1	3.37		
Cocina	11.17		
Salón	29.83		
Pasillo 2	10.97	Segunda	52.27
Habitación 1	11.17		
Habitación 2	13.12		
Habitación 3	11.36		
Baño 2	5.65		

Toda la información de la Tabla 2, puede también observarse en los planos de la vivienda (*Anexo I*) y en las fotografías de esta (*Anexo II*).

2.3.2. Orientación de la vivienda

La importancia de la orientación es mayúscula si queremos estudiar las necesidades y las demandas energéticas de un edificio (vivienda en nuestro caso, ya que, además de las características intrínsecas de la propia vivienda, la localización y la orientación determinan la interacción con los efectos climáticos o en este caso, con el sol.

Dependiendo del hemisferio en que se encuentre la vivienda, recibirá el efecto del sol de una forma u otra. Por ejemplo, para viviendas en el hemisferio norte, el sol incidirá sobre esta desde la orientación sur y, al contrario, para viviendas en el hemisferio sur, el sol incidirá desde la orientación norte. Esto puede observarse en la Ilustración 5.

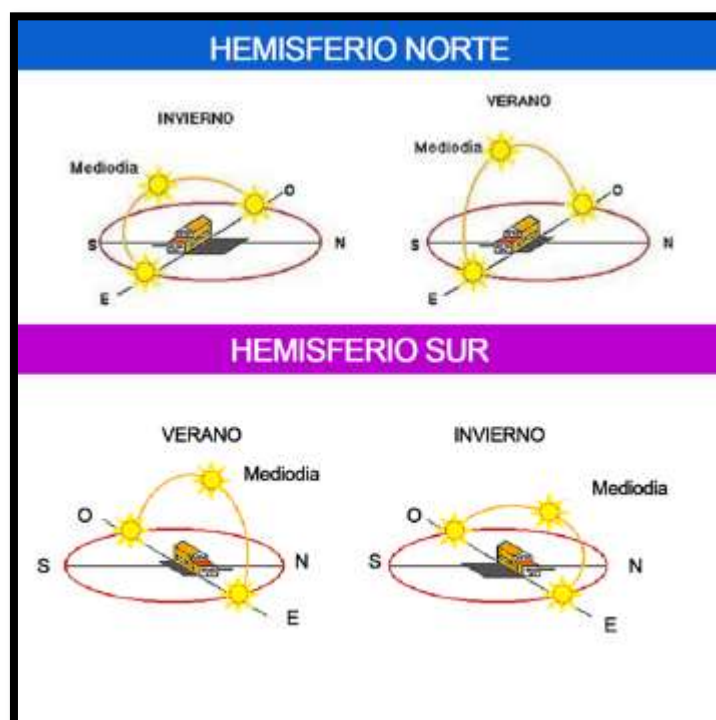


Ilustración 5. Diferencia entre hemisferios de la incidencia del sol.

Además, como también se puede observar en la Ilustración 5, el sol recorre posiciones diferentes dependiendo de la estación del año, posiciones más cercanas al cenit para el verano y más lejanas para el invierno. Esto, por ejemplo y en relación con este proyecto, provoca que ventanas y balcones de países del norte de Europa sobresalgan del muro hacia el exterior, además de colores más oscuros, para aprovechar el máximo de sol posible (Ilustración 6) y que se utilice el retranqueo, voladizos y colores claros en los países del sur de Europa (Ilustración 7), para evitar los rayos del sol en el interior de la vivienda a horas de máximo calor (mediodía de verano), pero permitir que estos entren cuando el sol está más tumbado (salida y puesta de sol e invierno).



Ilustración 6. Vivienda en el norte de Europa.



Ilustración 7. Vivienda en el sur de Europa.

Para el caso de la vivienda que se estudia en este proyecto, obtener su orientación se puede llevar a cabo con diversos métodos. El primero es mediante los propios datos del catastro (Ilustración 4), otro método es mediante la herramienta Google Earth (Ilustración 3) y el último de estos es mediante SketchUp.



Ilustración 8. Orientación de la vivienda.

Como se observa en la Ilustración 8, la vivienda posee una orientación norte-sur perfecta, con la fachada principal mirando hacia el este. También se puede observar en la imagen que precisamente esta misma cara este va a recibir sombra por parte del edificio de enfrente que actúa como obstáculo entre el edificio y la salida del sol por el este.

2.3.3. Zonificación de la vivienda

El modelo que se creará en SketchUp y se simulará mediante EnergyPlus se dividirá en distintas zonas térmicas, que a veces coincidirán con la geometría de la vivienda, ya que cada una de las zonas tendrá condiciones de contorno distintas y con objeto de poder llevar un control de la temperatura de cada una de las zonas. En la Tabla 3, se muestran las distintas zonas y su nomenclatura, muy similar a la geometría descrita en la tabla anterior.

Tabla 3. Zonificación de la vivienda.

Zona	Estancias	Nomenclatura
Zonas comunes	Entrada, Pasillo 1 y Pasillo 2	Z01-ENTRADA, Z04-PAS1, Z06-PAS2
Baño 1	Baño 1	Z05-BANO1
Cocina	Cocina	Z02-COC
Salón	Salón	Z03-SALON
Habitación 1	Habitación 1	Z08-HAB1
Habitación 2	Habitación 2	Z09-HAB2
Habitación 3	Habitación 3	Z10-HAB3
Baño 2	Baño 2	Z07-BANO1

Se han agrupado las zonas Z01, Z04 y Z06 como zonas comunes. La razón es que, en el modelo, aunque hemos separados las zonas entre ellas, hemos situado dos superficies ficticias a modo de suelo/techo entre ellas para que el modelo funcione correctamente en el software, pero que realmente no opone ningún tipo de resistencia al intercambio energético entre ellas de acuerdo con las propiedades que se les ha asignado y por lo que, a modo funcional, son como una misma zona térmica.

La representación por plantas de las diferentes zonas y relación entre planos y modelo será la siguiente:

- Planta baja

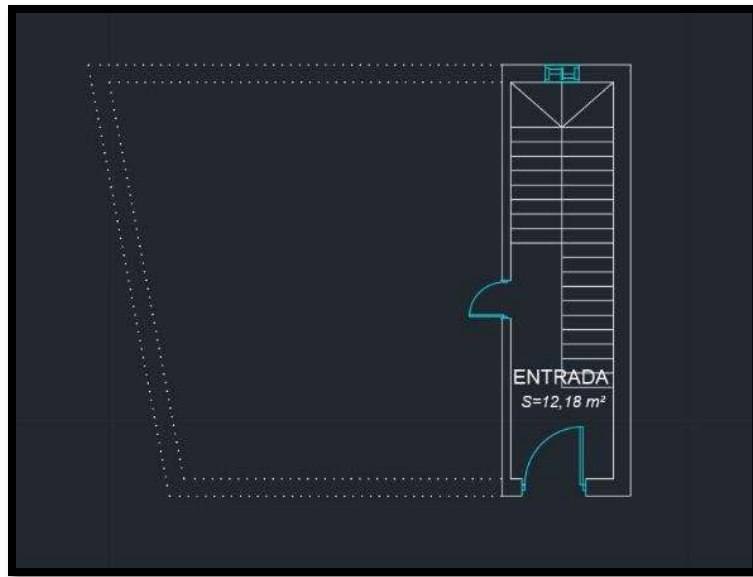


Ilustración 9. Planos planta baja de la vivienda.

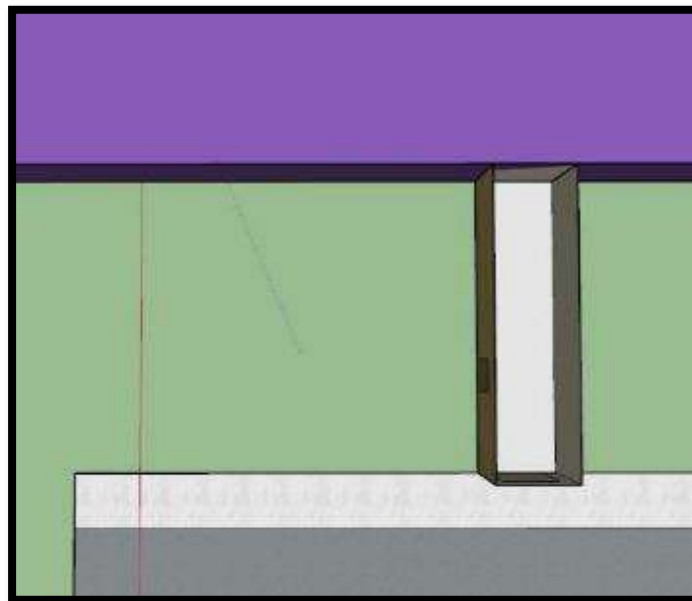


Ilustración 10. Modelo en SketchUp de la planta baja.

- Primera planta

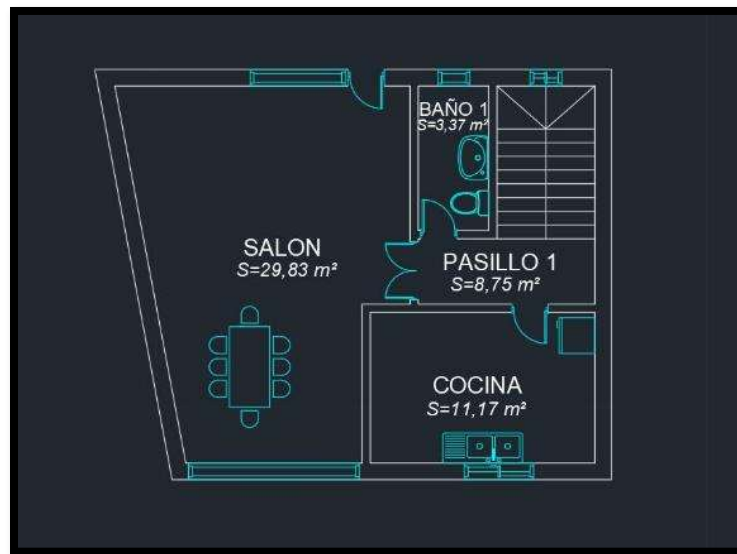


Ilustración 11. Planos primera planta de la vivienda.

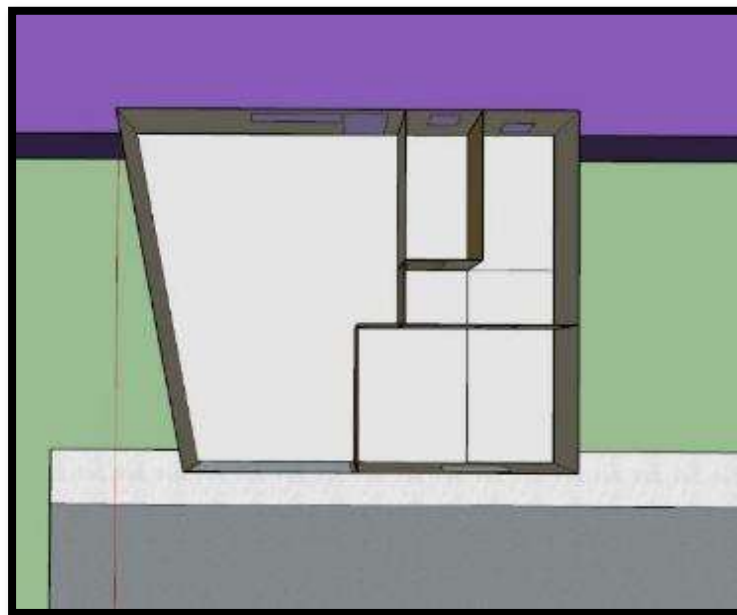


Ilustración 12. Modelo en SketchUp de la primera planta.

- Segunda planta

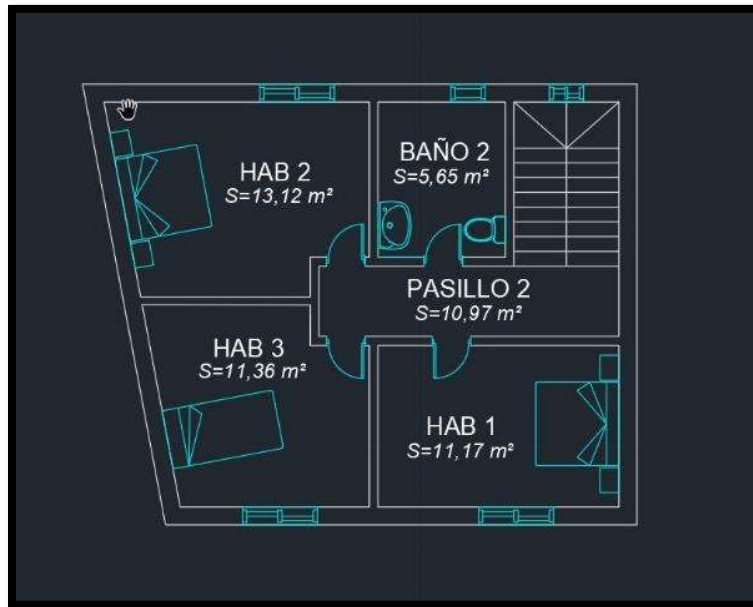


Ilustración 13. Planos segunda planta de la vivienda.

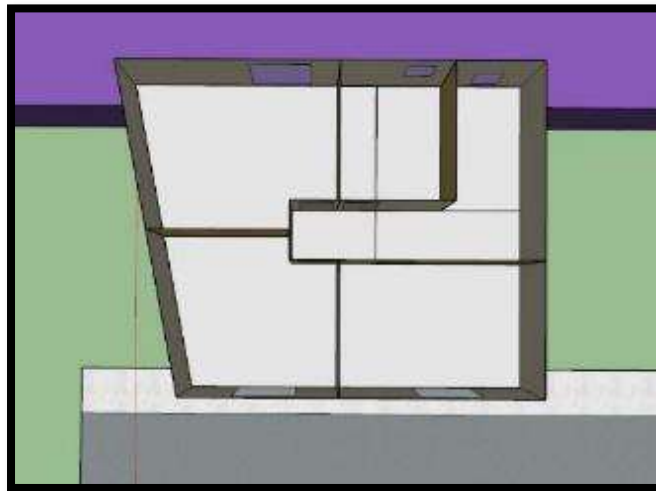


Ilustración 14. Modelo en SketchUp de la segunda planta.

- Modelo completo

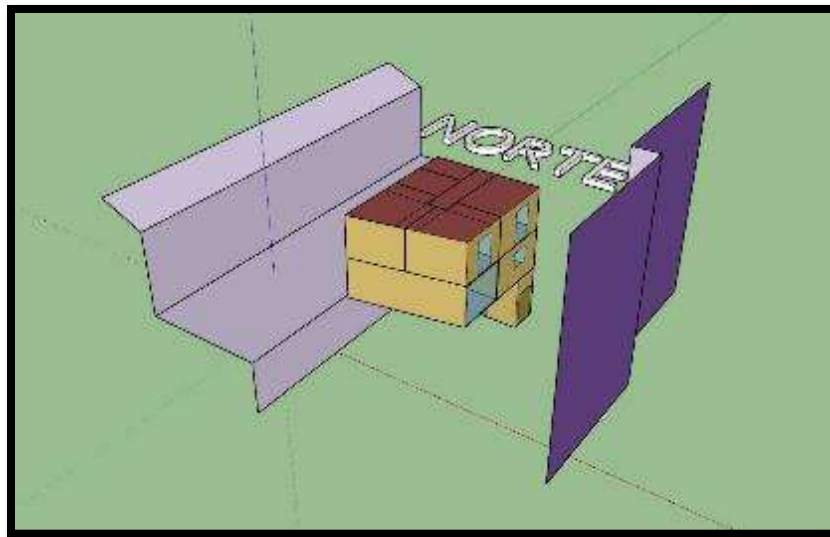


Ilustración 15. Modelo completo en SketchUp. Vista desde S-E.

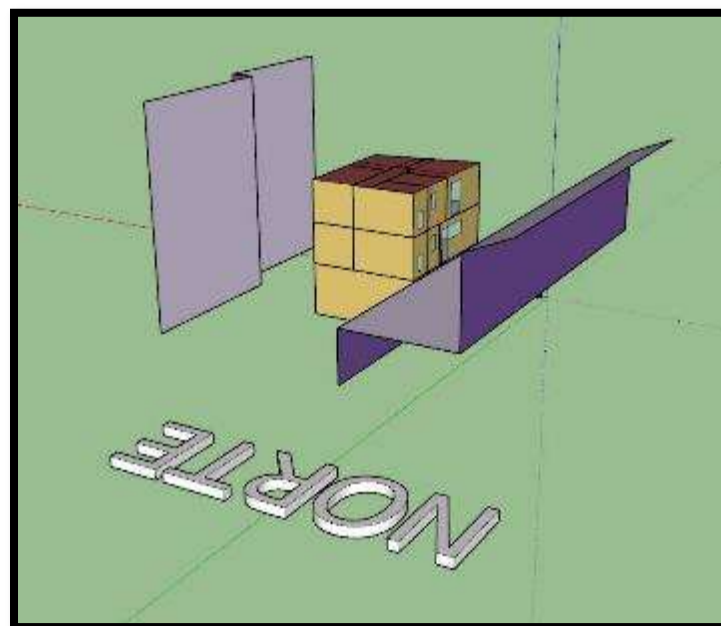


Ilustración 16. Modelo completo en SketchUp. Vista desde N-O.

2.4. Características constructivas y condiciones de contorno

2.4.1 Cerramientos, composición y propiedades

La vivienda cuenta con cinco tipos de cerramientos: dos muros, el tejado y dos tipos de suelo. Los dos tipos de muros corresponden básicamente al muro perimetral exterior por un lado y a los muros interiores por otro. Los tipos de suelo corresponden a las plantas primera y segunda, por un lado, y baja, por otro. En resumen:

Tabla 4. Cerramientos de la vivienda.

Cerramiento	Tipo	Espesor (m)	Descripción
Suelo planta baja	Horizontal	0.16	Suelo que separa la vivienda del terreno
Suelo entreplanta	Horizontal	0.32	Suelo de la primera y segunda planta
Tejado	Horizontal	0.9	Cubierta del edificio
Muro exterior	Vertical	0.30	Muro perimetral de la vivienda
Muro interior	Vertical	0.15	Muro que separa las distintas estancias

Como para el modelo energético de SketchUp, la cubierta debe representarse como una superficie plana horizontal, se ha simplificado el tejado a dos aguas por un modelo plano de capas, con unos valores de espesor medio, teniendo en cuenta que, entre el pico del tejado y la parte inferior del cerramiento de la vivienda que da a las habitaciones, hay aproximadamente 1.5m, se ha supuesto un valor de 0.9m para el modelo horizontal del tejado. Esto podemos observarlo en la Ilustración 17.

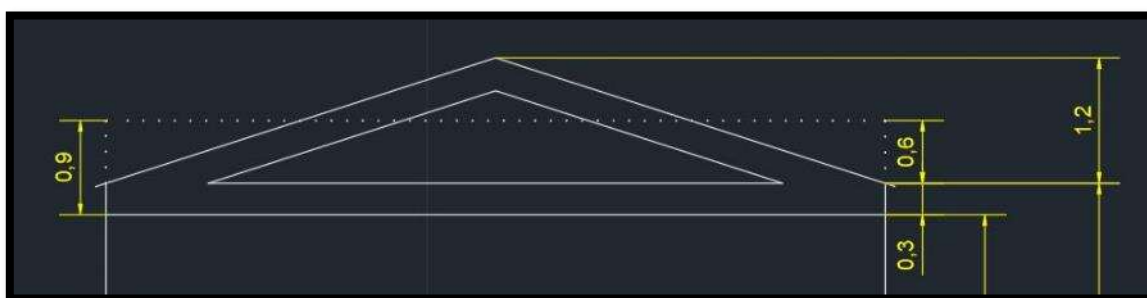


Ilustración 17. Simplificación del modelo para el tejado.

Salvo las medidas del espesor del suelo de la planta baja y la cubierta, que se han tomado aproximadamente teniendo en cuenta obras o reformas previas, todas las medidas han podido llevarse a cabo manualmente y se tiene un valor relativamente exacto de espesor.

Los cerramientos de tipo vertical y horizontal pueden observarse en la Ilustración 18 y en la Ilustración 19, respectivamente.

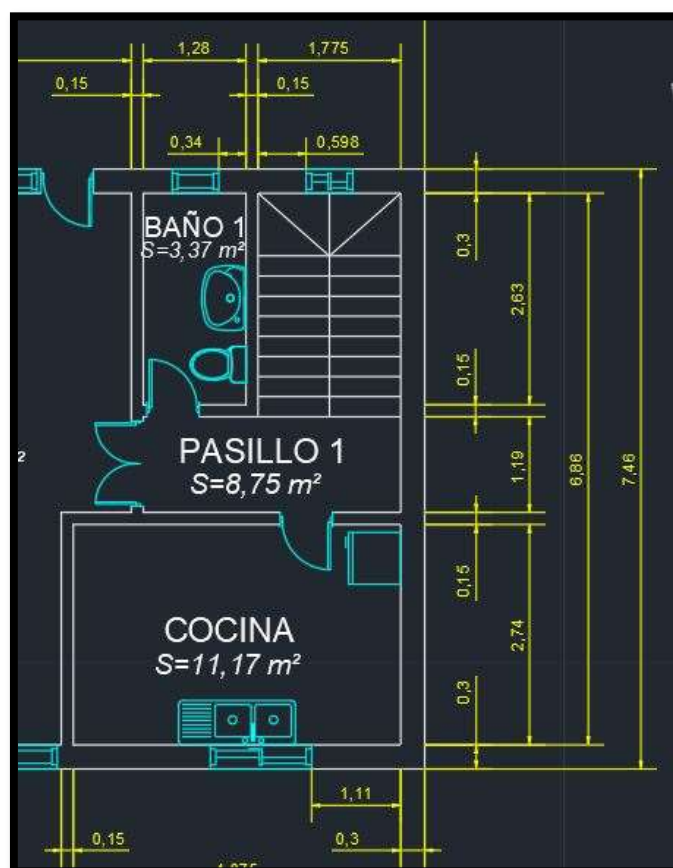


Ilustración 18. Muros exteriores e interiores de la vivienda.

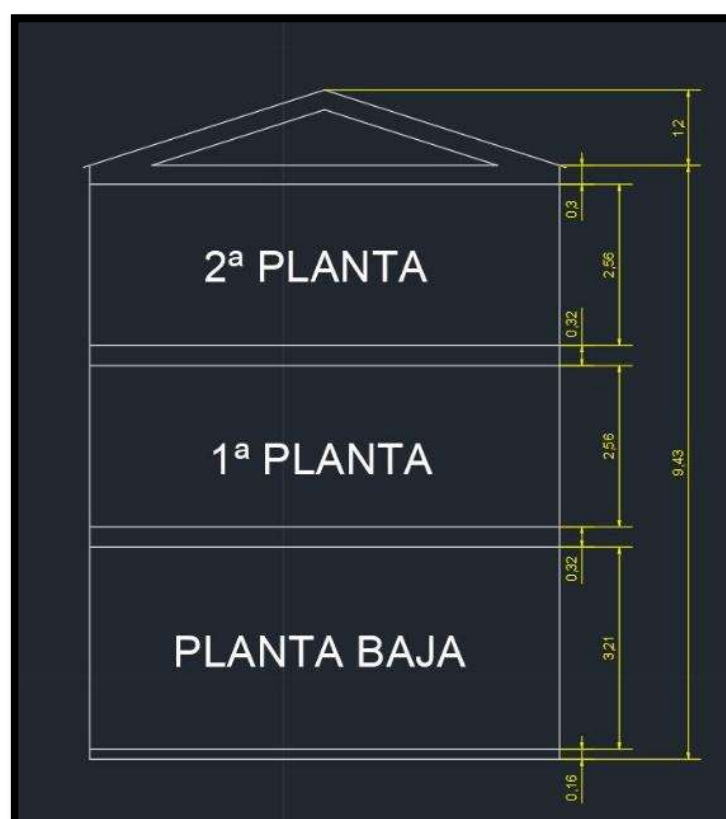


Ilustración 19. Suelos y cubierta de la vivienda.

La composición de materiales de los distintos cerramientos y sus variables se pueden observar en las siguientes tablas, en las que se detalla también el grosor de las capas que componen el mismo y que posteriormente se mostraran las propiedades, material por material. Todas las tablas vienen dadas de exterior a interior:

- Suelo planta baja

Tabla 5. Composición suelo planta baja.

Suelo planta baja	
Material	Espesor (m)
Hormigón armado	0.11
Mortero cemento	0.03
Mármol	0.02
TOTAL	0.16

- Suelo entreplanta

Tabla 6. Composición suelo entreplanta.

Suelo entreplanta estándar		Suelo entreplanta baños y cocina	
Material	Espesor (m)	Material	Espesor (m)
Enlucido de yeso	0.02	Enlucido de yeso	0.02
FU entrevigado cerámico	0.25	FU entrevigado cerámico	0.25
Mortero cemento	0.03	Mortero cemento	0.03
Mármol	0.02	Plaqueta o baldosa cerámica	0.02
TOTAL	0.32		0.32

- Tejado

Tabla 7. Composición del tejado.

Tejado	
Material	Espesor (m)
Teja de arcilla cocida	0.02
Mortero cemento	0.02
Tela impermeable	-
FU entrevigado cerámico	0.30
Cámara de aire lig. ventilada	0.22
Mortero cemento	0.02
FU entrevigado cerámico	0.30
Enlucido de yeso	0.02
TOTAL	0.9

- Muro exterior

Tabla 8. Composición muro exterior.

Muro exterior estándar		Muro exterior baños y cocina	
Material	Espesor (m)	Material	Espesor (m)
Mortero cemento pintado	0.03	Mortero cemento pintado	0.03
Tabicón de LH doble	0.07	Tabicón de LH doble	0.07
Mortero cemento	0.02	Mortero cemento	0.02
Cámara de aire sin ventilar	0.12	Cámara de aire sin ventilar	0.12
Tabique de LH sencillo GF	0.04	Tabique de LH sencillo GF	0.04
Enlucido de yeso	0.02	Azulejo cerámico	0.02
TOTAL	0.30		0.30

- Muro interior

Tabla 9. Composición muro interior.

Muro interior estándar		Muro interior baños y cocina	
Material	Espesor (m)	Material	Espesor (m)
Enlucido de yeso	0.02	Enlucido de yeso	0.02
Mortero cemento	0.02	Mortero cemento	0.02
Tabicón de LH doble	0.07	Tabicón de LH doble	0.07
Mortero cemento	0.02	Mortero cemento	0.02
Enlucido de yeso	0.02	Azulejo cerámico	0.02
TOTAL	0.15		0.15

En la tabla 10, se puede observar, para cada material, sus diferentes propiedades:

Tabla 10. Propiedades de los materiales de los cerramientos.

Material	Abs. solar	Abs. térmica	Conductividad $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Calor específico $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$	R _{vapor}	Espesor (m)
Mortero cemento de 2cm	-	-	0.8	1525	1000	10	0.02
Mortero cemento de 3cm	-	-	0.8	1525	1000	10	0.03
Mortero de 3 cm pintado	0.3	0.9	0.8	1525	1000	10	0.03
Enlucido de yeso	-	-	0.57	1150	1000	6	0.02
Mármol	-	-	3.5	2700	1000	10E3	0.02
Hormigón armado	-	-	2.5	2600	1000	80	0.11
FU de 25cm	-	-	0.908	1220	1000	10	0.25
FU de 30cm	-	-	0.846	1110	1000	10	0.3
Plaqueta cerámica	-	-	1	2000	800	30	0.02
Teja de arcilla cocida	0.69	0.9	1	2000	800	30	0.02
Azulejo cerámico	-	-	1.3	2300	840	1E30	0.02
LH doble	-	-	0.432	930	1000	10	0.07
LH sencillo GF	-	-	0.228	670	1000	10	0.04
	Resistencia térmica $\left(\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}\right)$						
Cámara de aire lig. ventilada	0.1						0.22
Cámara de aire sin ventilar	0.19						0.12

Todas las propiedades de los materiales se han tomado del catálogo de ATECYR-HE1 [6], la absorptancia solar se ha tomado del catálogo de colores de la empresa Colorbond, donde viene un valor de absorptancia solar para

cada color registrado, que se utilizará como valor orientativo. Para el caso de la absorción térmica se tomó un valor típico de 0.9, que se ha de introducir en el software EnergyPlus, para poder simular correctamente el modelo.

El proceso de introducir estos materiales y propiedades en el programa, así como funciona el mismo a la hora de simular, es el siguiente:

1. En la clase “Material”, se añaden nuevos objetos que representaran cada uno de los materiales, a los que se les debe añadir un nombre, un nivel de aspereza (que supondremos dentro de los 6 niveles que posee el programa, según la rugosidad y porosidad del material), de grosor, así como las propiedades de la Tabla 10. Esta clase funciona como un banco de materiales de trabajo a los que posteriormente se les puede llamar para funcionar desde cada una de las construcciones.
Para el caso de las cámaras de aire existe una clase distinta, llamada “Material:AirGap” donde solo se debe introducir el nombre que se quiera asignar a cada objeto que creado, así como su valor de resistencia térmica, que depende directamente de su espesor, aunque este no haya que especificarlo en el programa.
2. Posteriormente, en la clase “Construction” se hayan las diferentes construcciones que se han realizado mediante la composición de materiales y que se usaran posteriormente asignándose a objetos.
Las distintas construcciones se han nombrado del tipo Z10-MURONORTE-HAB3-HAB1, siendo el primer término la zona en la que se ubica, el segundo término el tipo de construcción y su orientación, el tercer término el nombre de la estancia y, en caso de existir cuarto termino, la entidad que tiene en su contorno.
Por tanto, ya nombrada la construcción, los huecos que hemos de completar en el software son las distintas capas que lo forman, haciendo la llamada a cada uno de los materiales, que se encuentran en el banco de objetos “Material” que se ha nombrado antes y que se debe situar de la capa más exterior a la más interior de la construcción fijándose en la capa resaltada de color en el software “Outside Layer”.
3. Por último, en la clase “BuildingSurface:Detailed”, se encuentran los objetos creados mediante el modelaje en SketchUp y que se ha procedido a nombrar previamente desde el mismo software, ya que, a modo aclaratorio, es mejor hacerlo desde SketchUp mediante la herramienta Show Object Info Window de la extensión Euclid y clicando en cada uno de los objetos (Muros, suelos, puertas, ventanas, etc.), que hacerlo posteriormente en el software EnergyPlus donde no se puede observar gráficamente a que construcción corresponde cada uno de los objetos.

Siguiendo el mismo criterio que para las construcciones, las superficies se han nombrado de la misma manera, por lo que los campos “Name” y “Construction Name” van a coincidir, aunque sin guiones para poder distinguirlas. Posteriormente en tipo de superficie podemos comprobar que SketchUp interpreta cada una de las superficies al dibujarlas y las identifica como muros, suelos, cubiertas, etc. También podemos observar a la zona a la que pertenece cada superficie.

En otro de los campos, de vital importancia, hay que identificar el “Outside Boundary Condition”, que indica la condición de contorno que tiene la superficie, con qué tipo de entidad tiene contacto directo hacia el exterior de la estancia, esta puede tener tres opciones:

- ❖ Zone: Si la superficie se encuentra entre la zona que está construida y otra zona térmica colindante. En este caso ha de indicarse esta zona en el campo “Outside Boundary Condition Object” que se encuentra justo debajo, en caso negativo, y se opte por las siguientes dos opciones, este quedará en blanco.
- ❖ Outdoors: Si la superficie tiene condiciones de exterior. En caso de indicar esta opción deberemos indicar en los campos de exposición solar y al viento, si se dan o no estos.
- ❖ Adiabatic: Si la superficie limita con una zona (este o no en el proyecto) que posee las mismas características térmicas y no se produce transferencia de calor.

Para tener en cuenta es que la mayoría de estos campos se pueden indicar mediante ambos softwares, con mayor o menor sencillez dependiendo de cada uno.

2.4.2. Huecos, composición y propiedades

Los huecos que se encuentran en la vivienda son superficies que se encuentran en el interior de otras, pero con diferentes propiedades. Estas se forman automáticamente cuando, en SketchUp creamos una subsuperficie en el mismo plano y dentro del contorno de otra superficie ya creada. Esta es la forma que se tiene mediante el software de crear objetos como puertas y ventanas, y es que el programa modela según si se ha creado la superficie interior en contacto con alguna de las aristas una puerta (a no ser que se indique que es una puerta de cristal), o si todas las aristas de la superficie interior no coinciden, una ventana.

Como hemos descrito anteriormente, al igual que las superficies que corresponden a muros, paredes y cubiertas se sitúan en la clase “BuildingSurface:Detailed”, las superficies de ventanas, puertas y puertas de cristal se sitúan en la clase “FenestrationSurface:Detailed”. Estas superficies pueden diferenciarse de las superficies contenedoras en que las puertas se muestran de un color marrón oscuro y en el caso de las ventanas y puertas de cristal de color celeste transparente, desde el que se puede observar el interior y exterior de las estancias, que luego mediante la simulación o la herramienta sombreado afectara a la acción del sol sobre cada una de las estancias con superficies de ventana.

Por cada uno de estos huecos se verán afectadas, en gran medida, las estancias en invierno (perdiendo calor) y en verano (recibiendo energía solar).

2.4.2.1. Puertas

La vivienda posee diez puertas: una de entrada, ocho puertas interiores estándar y una puerta de cristal que da a la terraza. Las propiedades de las puertas de madera, deberá crearse en la clase “Material” al igual que los cerramientos. Por tanto, sus propiedades son las siguientes:

Tabla 11. Propiedades de las puertas.

Material	Abs. solar	Aspereza	Conductividad $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Calor específico $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$	R _{vapor}	Espesor (m)
Madera Estándar	0.46	MediumSmooth	0.15	608	1630	20	0.03
Madera Entrada	0.69	MediumSmooth	0.10	608	1630	20	0.06

Para el caso de la puerta de cristal, se necesita crear el material del tipo cristal (en la clase “WindowMaterial:SimpleGlazingSystem”), que también se usará posteriormente para ventanas también. En el caso de esta puerta, se trata de vidrio doble, con las siguientes propiedades:

Tabla 12. Vidrio que compone la puerta de cristal.

	Transmitancia térmica (U) $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$	Factor solar (g)
Vidrio Doble	3	0.75

Posteriormente se debe crear un objeto de la clase “Construction”, donde se le asignará el mismo nombre que al vidrio y se le asignará como capa el vidrio anteriormente creado. Ya aquí, se puede asignar la construcción a las superficies, en “FenestrationSurface:Detailed”, donde se debe comprobar que el nombre de la superficie es el añadido en SketchUp, o bien añadirlo aquí. El tipo de superficie entre las anteriormente comentadas (Window, Door o GlassDoor). En nombre de la construcción es donde se debe añadir ya si la construcción creada del

vidrio. En nombre de la superficie constructiva se puede comprobar a que muro pertenece el hueco que se está editando. Por último, hay dos campos importantes que se pueden completar para generar un modelo aún más ajustado a la realidad, a estos se puede añadir objetos creados para las clases “WindowProperty:ShadingControl” y “WindowProperty:FrameAndDivider” que representan a objetos de sombreado como cortinas y objetos de marco y divisores de las ventanas y puertas de cristal.

En el caso de la vivienda de estudio, se completarán estos campos con los siguientes elementos:

- WindowProperty:ShadingControl:

Field	Units	Obj1
Name		Persianas
Shading Type		ExteriorShade
Construction with Shading Name		
Shading Control Type		OnIfHighOutdoorAir
Schedule Name		
Setpoint	W/m2, W or deg	29
Shading Control Is Scheduled		No
Glare Control Is Active		No
Shading Device Material Name		HIGH REFLECT - L
Type of Slat Angle Control for Blinds		FixedSlatAngle
Slat Angle Schedule Name		
Setpoint 2	W/m2 or deg C	

Ilustración 20. Shading control.

Al ser persianas exteriores, se ha seleccionado la opción “ExteriorShade”. El método de control que hemos seleccionado es automático, que consiste en activar las persianas cuando el aire exterior tiene una temperatura superior a 29°C, ya que, aunque no se dispone de ningún sistema de domótica, es una representación del comportamiento de los inquilinos, que echaran las persianas en las horas de más calor, especialmente durante el verano. Se ha creado un material para la persiana en la clase “WindowMaterial:Shade”, esta será blanca, de plástico y con un nivel reflectante alto, con las siguientes propiedades:

Field	Units	Obj1
Name		HIGH REFLECT - LOW TRANS SHADE
Solar Transmittance	dimensionless	0,1
Solar Reflectance	dimensionless	0,8
Visible Transmittance	dimensionless	0,1
Visible Reflectance	dimensionless	0,8
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0,9
Infrared Transmittance	dimensionless	0
Thickness	m	0,01
Conductivity	W/m-K	0,1
Shade to Glass Distance	m	0,05
Top Opening Multiplier		0,5
Bottom Opening Multiplier		0,5
Left-Side Opening Multiplier		0,5
Right-Side Opening Multiplier		0,5
Airflow Permeability	dimensionless	0,05

Ilustración 21. Propiedades de la persiana.

- WindowProperty:FrameAndDivider:

Para el caso de los marcos, se tienen dos tipos de marcos en toda la vivienda básicamente, que dependiendo de cada uno de ellos poseerán distintos divisores horizontales o verticales, pero mismas propiedades y

medidas. Los dos tipos que se tienen son marcos antiguos (con vidrio sencillo), instalados durante la construcción de la vivienda, y marcos nuevos (con vidrio doble), instalados en una reforma hecha en el salón. Los distintos marcos pueden observarse en el *Anexo II*, un resumen de estos en la Tabla 13 y sus propiedades en la Ilustración 23.

Tabla 13. Tipos de marcos de la vivienda.

Tipo de marco	Nombre del marco	Div. Horizontales	Div. Verticales
Marco antiguo	MarcoAntiguoHabs	3	1
	MarcoAntiguoPasBano	1	1
	MarcoAntiguoCoc	1	3
Marco nuevo	MarcoNuevoPuerta	4	1
	MarcoNuevoVent	1	3
	MarcoNuevoVentanal	4	1

Los tipos de divisores que posee el programa, y que nombra como “Suspended” y “DividedLite” tratan de divisores situados en el interior de los marcos de ventanas y puertas de cristal y que o bien sobresalen del vidrio y lo dividen en forma de cuadrícula, o bien permanecen dentro del propio vidrio, como bien se ilustra en la Ilustración 22:

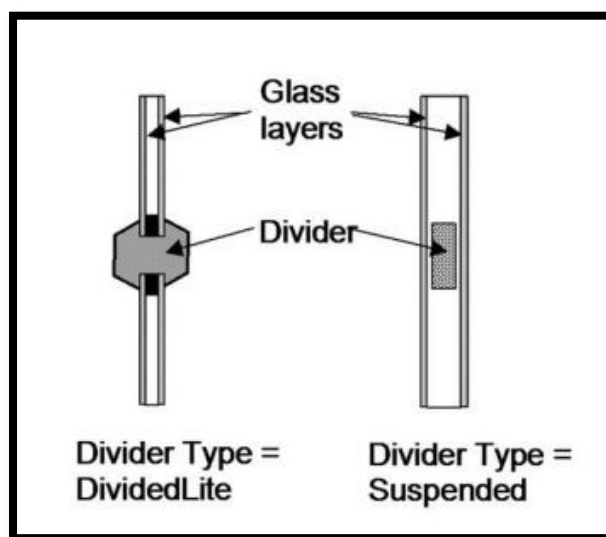


Ilustración 22. Tipos de divisores.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		MarcoNuevoPuerta	MarcoAntiguoHabs
Frame Width	m	0,08	0,09
Frame Outside Projection	m	0,16	0,17
Frame Inside Projection	m	0,02	0,02
Frame Conductance	W/m2-K	10	3,51
Ratio of Frame-Edge Glass Conductance		1,3	0,7
Frame Solar Absorptance		0,3	0,7
Frame Visible Absorptance		0,1	0,3
Frame Thermal Hemispherical Emissivity		0,4	1,9
Divider Type		Suspended	DividedLite
Divider Width	m	0,02	0,04
Number of Horizontal Dividers		4	3
Number of Vertical Dividers		1	1
Divider Outside Projection	m	0	0,02
Divider Inside Projection	m	0	0,02
Divider Conductance	W/m2-K	5	2,27
Ratio of Divider-Edge Glass Conductance		1,3	0,7
Divider Solar Absorptance		0,3	0,7
Divider Visible Absorptance		0,1	0,3
Divider Thermal Hemispherical Emissivity		0,4	0,9
Outside Reveal Solar Absorptance		0,3	0,3
Inside Sill Depth	m	0,01	0,01
Inside Sill Solar Absorptance		0,3	0,7
Inside Reveal Depth	m	0,01	0,01
Inside Reveal Solar Absorptance		0,3	0,7

Ilustración 23. Propiedades de los marcos.

2.4.2.2. Ventanas

Al igual que se ha creado el vidrio doble que compone la puerta de cristal del salón, que también compone las ventanas nuevas de la vivienda, se debe crear un vidrio simple en “WindowMaterial:SimpleGlazingSystem” que forme parte las ventanas antiguas, como son las de los pasillos, baños, habitaciones y cocina. Por tanto, los vidrios creados para la vivienda serán:

Tabla 14. Vidrios de toda la vivienda.

	Transmitancia térmica (U) $\frac{W}{(m^2 \cdot ^\circ C)}$	Factor solar (g)
Vidrio Doble	3	0.75
Vidrio Simple	5.7	0.85

Una vez creado, se creará su respectiva “Construction” como se comentó anteriormente para poder asociarlas a las respectivas ventanas encontradas en “FenestrationSurface:Detailed”

De este modo, las diez ventanas que posee el modelo, dos modernas y ocho antiguas, deben tener asignadas, aparte del nombre y del tipo de superficie y superficie que las contiene, su respectiva construcción de vidrio, su elemento de control del sombreado y sus respectivos marcos (estos dos últimos campos, comentados en el apartado anterior sobre las puertas).

2.4.3. Elementos de sombra

Los elementos de sombra son superficies, estructuras o elementos creados mediante SketchUp u objetos tipo cortinas o persianas creadas mediante EnergyPlus. Todos ellos tienen como objeto ajustar el modelo lo máximo posible a la realidad, representando obstáculos entre el sol y la vivienda, provocando zonas no soleadas a diferentes horas del día, donde sin estos, en condiciones normales estarían soleadas.

Estas superficies y estructuras pueden observarse en SketchUp mediante superficies en un tono violeta, creadas mediante el elemento de crear una “Shading Zone” y que, dentro de este elemento, el software interpretará todos los elementos creados como elementos de sombra. Dentro de estas estructuras, objetos como voladizos pueden ser creados de esta manera. Para el caso de elementos como persianas, cortinas o retranqueos, pueden crearse objetos de sombreado mediante SketchUp, o bien, como se ha realizado en nuestro caso, utilizando un método menos gráfico mediante Energyplus, dentro de las clases de marcos y control de sombreado, siendo ambos métodos totalmente válidos.

2.4.3.1. Estructuras

La vivienda tiene dos estructuras principales de las que va a recibir sombra y que se han implementado en el modelo de SketchUp.

La primera se trata del conjunto de casas contiguas a la vivienda, que se encuentra al oeste de esta (desde noroeste hasta suroeste) y que formarán una estructura lineal con orientación norte-sur. Esta estructura proyectará sombra a altas horas de la tarde, tendiendo a la puesta de sol. Podemos observar la primera de las estructuras en la Ilustración 24 e Ilustración 25, situada a la izquierda de la vivienda.



Ilustración 24. Estructura de sombreado 1 a.

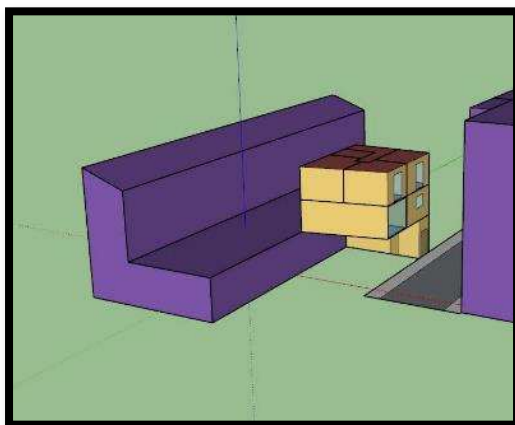


Ilustración 25. Estructura de sombreado 1 b.

La segunda de las estructuras se encuentra al este de la vivienda, un gran bloque de viviendas de cuatro plantas de altura, que se encuentra a una distancia de unos cinco metros y que separa una calle. La superficie sur del bloque, esta desplazada más en dirección sur que la superficie sur de la vivienda, por lo produce un sombreado más alargado en el día, durante las primeras horas de la mañana, hasta que el sol alcanza una altura considerable. En este caso, se puede observar en la Ilustración 26 e Ilustración 27, a la derecha de la vivienda.

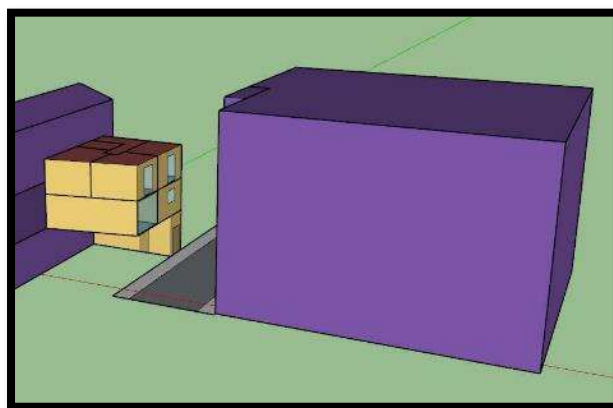


Ilustración 26. Estructura de sombreado 2 a.



Ilustración 27. Estructura de sombreado 2 b.

En ambos casos cabe señalar que la forma de las estructuras creadas, no se adecua a la forma completa de las estructuras reales, y es que estas solo deben de considerarse como un obstáculo entre el sol y la vivienda, como figuras solidas que causan sombra sobre esta.

Por ejemplo, en el caso de la estructura 1, solo está representada la casa contigua hasta la cumbrera del tejado, ya que la parte del tejado a dos aguas del lado oeste no tendrá repercusión alguna sobre la vivienda a estudiar, al igual que hemos añadido ambas terrazas como una misma estructura y añadida a la estructura 1, ya que esta produce sombra sobre la planta baja y carece de otro carácter, en términos de medidas de ahorro o eficiencia a modificar, dentro del modelo de la vivienda de estudio.

Lo mismo sucede con la estructura 2 en todas las superficies que los detalles no afecten al modelo de la vivienda.

Respecto a las viviendas laterales a la estudiada, que no producen sombra alguna, solo se deben añadir a las superficies colindantes como condiciones de contorno adiabáticas, representando una transferencia de calor nula, al suponer las demás viviendas acondicionadas térmicamente.

2.4.3.2. Voladizos, retranqueos, persianas y cortinas

Como se ha comentado anteriormente, no existen voladizos significantes en la vivienda, el retranqueo natural de la vivienda se ha añadido mediante la clase de marcos y divisores, añadiendo 15cm a la proyección exterior del marco, y las persianas se han añadido mediante la clase de control de sombras. Por tanto, no existen superficies o estructuras en sí, creadas mediante SketchUp, dentro de ninguna zona de sombreado.

2.5. Cargas internas

Además de las características constructivas de la vivienda, esta posee multitud de características térmicas, que van a ser de vital importancia a la hora de la simulación ya que todas ellas suponen diversas cargas térmicas que, dependiendo de la estación y condiciones, fomentaran el confort o desconfort térmico. Básicamente, todas estas cargas internas, en conjunto, favorecerán o desfavorecerán la carga térmica que ha de combatir los equipos de climatización de los que se dispone o de los que se dispondrán (posible método de ahorro) para alcanzar unas determinadas condiciones de temperatura, humedad, uniformidad térmica, etc. (confort térmico).

Las características térmicas de la vivienda a considerar serán la ocupación, ventilación, iluminación, masa interna, ACS y climatización. Para todas ellas deberemos crear un perfil de uso o consumo horario, mediante las clases de tipo “Schedule”, ya que posteriormente el programa realizará una simulación anual, con los días festivos que le indiquemos.

2.5.1 Ocupación

La carga interna por ocupación es la carga que producen las personas que se encuentran en el interior de la vivienda (cada una de las zonas). Esta carga, a diferencia de las cargas que producen, por ejemplo, los equipos eléctricos o la iluminación, que son cargas sensibles, esta produce además una carga latente (aumento de humedad), en función de la actividad humana y producida por el alto porcentaje de humedad del que está formado el ser humano y que al respirar o sudar, la va transmitiendo al ambiente.

La vivienda a la que se le va a realizar el estudio energético está habitada por tres personas, dos de ellas jubiladas y un estudiante, por lo que además de un comportamiento más sedentario de lo habitual, se le ha añadido la situación sobrevenida del COVID-19, que aunque no sea una situación habitual a largo plazo, nos pone en un contexto lo más desfavorable energéticamente hablando respecto a la vivienda y por lo que, a la hora de realizar los cálculos y medidas de ahorro, se preparará aún mejor la vivienda para futuros contextos también desfavorables (como el cambio climático).

Todos estos factores comentados anteriormente, van a generar una serie de hábitos en el día a día que van a seguir en mayor o menor medida uno o varios patrones y que debemos estimarlos, mediante un horario de ocupación (Tabla 16).

Dicha estimación se realiza en primer lugar en función del día del año mediante el comando “Through” en EnergyPlus. En segundo lugar, en función de la semana, dependiendo de si es día entre semana, fin de semana

o día festivo, esto se indica mediante el comando “For”, añadiendo a que día/s de la semana se refiere. Para el correcto funcionamiento de la simulación en el programa, se debe indicar un “Schedule” del tipo “Schedule:Compact”, y este debe de abarcar todo un año completo, indicando día a día y hora a hora que ocurre en el modelo. Estos comandos son del tipo:

- “For:Alldays”: Para todos los días de la semana. En este caso no hay que indicar el comportamiento para ningún otro día de la semana, ya que quedan todos abarcados.
- “For:WeekDays”: Para todos los días laborables de la semana (L-V). En este caso quedaría por definir los fines de semana y días festivos.
- “For:Weekends”: Para todos los días de fin de semana (S-D). Si además del fin de semana, se quiere definir también los días festivos como días no laborables, existe un comando para definir todo lo que no sea día laborable “For:WeekendsAllotherdays”.
- “For:Holidays”: Para todos los días festivos, independientemente de si se encuentran de (L-V) o de (S-D). Estos días son definidos en el programa dependiendo de la localización, y quedan abarcados mediante el comando del apartado anterior.
- “For:Sunday”: En el caso de querer especificar días particulares, EnergyPlus nos permite indicar excepciones para días en específico. Por ejemplo, los habitantes los miércoles permanecen fuera de la vivienda.

Para el caso del comando “Through”, se debe de indicar hasta que fecha se da el horario que se va a describir a continuación, del tipo “Through: 01/08”. Evidentemente la línea de objeto debe de terminar con un “Through: 12/31” que termine abarcando todo el año. En la Ilustración 28, se puede observar la estructura de un “Schedule” del tipo “Compact”:

Obj2
PEOPLE-Z03-SALON
Any Number
Through: 12/31
For: Alldays
Until: 08:00
0
Until: 13:00
.33
Until: 15:00
0
Until: 20:00
.33
Until: 21:00
0
Until: 22:00
.33
Until: 24:00
0

Ilustración 28. Estructura de un objeto Schedule de ocupación.

Los hábitos que se han definido para cada estancia de la vivienda son los siguientes:

- **Z02-COCINA:** Se ha definido que los tres habitantes desayunan a horas distintas, almuerzan a la misma y cenar dos a la misma hora y uno a diferente hora, excepto los fines de semana y días festivos que la persona que cena sola se ha supuesto que cena fuera. El índice de metabolismo que se ha supuesto en esta estancia es el correspondiente al dado por la norma ASHRAE standard 55 [7] en su tabla 1.20 “Metabolic Rates for Various Activities” del documento, para la actividad “Cooking” con un valor de 200 W/pers.
- **Z03-SALON:** Se ha definido que solo le da uso una persona y que en todo momento que esta no está en la cocina o en la habitación, está en el salón. El índice que se ha supuesto para esta actividad es el correspondiente a “Seated, quiet” con un valor de 108 W/pers.

- **Z05 y Z07-BAÑOS:** Se han definido tres horas al día de uso del baño. Como esta actividad no viene definida en la norma, se ha supuesto un índice metabólico equivalente al índice de una actividad de oficina “Filing, seated” con un valor de 126 W/pers.
- **Z08, Z09 y Z10-HABITACIONES:** La habitación 2 corresponde a un mini salón donde se tiene la plancha y una televisión y un sillón. La habitación 1 es la compartida por dos de los habitantes, mientras que la 3 es utilizada por el habitante restante, que se ha supuesto que sale las noches del fin de semana. Se le ha asignado un índice metabólico correspondiente a “Walking about” para la habitación 2 y la media de las actividades correspondientes a “Sleeping”, “Reading, seated” y “Walking about”, estos son 180 W/pers y 117 W/pers, respectivamente.

Tabla 15. Nivel de actividad.

Zona	Estancia	Actividad	Valor (W/pers)
Z02	Cocina	Cooking	200
Z03	Salón	Seated, quiet	108
Z05 y Z07	Baños	Filing, seated	126
Z09	Habitación 2	Walking about	180
Z08 y Z10	Habitaciones 1 y 3	Mix entre Sleeping, Reading, seated y Walking about	117

Una vez se ha decidido los índices de actividad metabólica de los convivientes de la vivienda, se debe crear como objetos dentro de la clase “Schedule:Constant” todos estos valores constantes, de la forma:

Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
HABS13-117w	SALON-108w	COC-200w	BANOS-126w	HABS2-180w
AnyNumber	AnyNumber	AnyNumber	AnyNumber	AnyNumber
117	108	200	126	180

Ilustración 29. Schedule:Constant.

Una vez se tienen los dos tipos de “Schedules”, ya se puede completar la clase “People” que es donde se va a determinar la ocupación para la simulación posterior.

Field	Units	Obj1
Name		GENTE02-COCINA
Zone or ZoneList Name		Z02-COCINA
Number of People Schedule Name		PEOPLE-Z02-COC
Number of People Calculation Method		People
Number of People		3
People per Zone Floor Area	person/m2	
Zone Floor Area per Person	m2/person	
Fraction Radiant		0,5
Sensible Heat Fraction		autocalculate
Activity Level Schedule Name		COC-200w
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0,0000000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged
Surface Name/Angle Factor List Name		
Work Efficiency Schedule Name		
Clothing Insulation Calculation Method		ClothingInsulationSc
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name		
Clothing Insulation Schedule Name		
Air Velocity Schedule Name		
Thermal Comfort Model 1 Type		
Thermal Comfort Model 2 Type		
Thermal Comfort Model 3 Type		
Thermal Comfort Model 4 Type		
Thermal Comfort Model 5 Type		

Ilustración 30. Clase ocupación

Como se puede observar, en el campo “Number of People Schedule Name”, introducimos el horario creado en la clase “Schedule:Compact” y en el campo “Activity Level Schedule Name”, se introduce el objeto de la clase “Schedule:Constant” de valores de los índices metabólicos.

Para el campo “Number of People”, como se ha indicado tres personas, en el “Schedule:Compact” hay que tenerlo en cuenta de forma fraccionada, de forma que cuando se indica 0.33, se está indicando un 33% de tres personas, que corresponde a una (Ilustración 30).

Los valores de fracción radiante, así como de generación de dióxido de carbono, se han tomado también de la norma ASHRAE standard 55 [7].

Tabla 16. Schedule de ocupación e iluminación.

Zonas	Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
Z02-COCINA	D								1	1			1			2	3		1				2		1		
	WK								1	1				1		2	3		1				2				
Z03-SALON	AD									1							1						1				
Z05-BAÑO1	AD																1										
Z07-BAÑO2	AD									1															1		
Z08-HAB1	D	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1												1	1		
	WK	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1											1	1		
Z09-HAB2	D	1	1										1					1	1	1	1		1	1	1		
	WK	1	1	1										1				1	1	1	1		1	1	1		
Z10-HAB3	D	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1	1			1				1	1		1		
	WK			1	1	1	1	1	1				1	1	1			1				1	1				
Leyenda	WK=Weekend				D=WeekDays				AD=Alldays					1 = Número de personas en la estancia					1 = Horario de la clase LIGHTS								

2.5.2. Ventilación

El concepto de ventilación de la vivienda se resume en las renovaciones del aire interior que se produce en esta por cada hora. Esta renovación del aire se ve afectada por los cerramientos de la vivienda, la orientación de esta y la composición y estanqueidad de los huecos. Todas estas infiltraciones llevan consigo una carga térmica positiva en verano y negativa en invierno, contra la que se debe luchar para producir confort térmico.

El Manual de Fundamentos Técnicos de CE3X [8], nos indica el caudal de aire exterior mínimo exigido para garantizar la calidad del aire, que tiene un valor de 0.6 L/sm^2 para un edificio residencial.

Por otra parte, en la Tabla 3.1.3.a-HE1 del DB-HE del Código Técnico de la Edificación [9], nos fija un límite de caudal de aire en función de la zona climática que se encuentre la vivienda, en este caso como ya hemos visto (Tabla 1), la zona corresponde a A3, y el valor máximo es $27 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ (Ilustración 31).

Tabla 3.1.3.a-HE1 Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,\text{lim}}$ [$\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$]						
	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ($Q_{100,\text{lim}}$) [*]	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

^{*} La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa, Q_{100} .
 Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ($\leq 27 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$) y clase 3 ($\leq 9 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$) de la UNE-EN 12207:2017.
 La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Ilustración 31. Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica.

Mediante las características constructivas de nuestra vivienda, como superficie, volumen o áreas de ventanas y puertas, se ha supuesto para una calidad baja una permeabilidad de los huecos de 1.5 ren/h , equivalente a $3.94 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, de manera que cumpla el mínimo exigido y menor incluso que las clases 3 y 4 de la UNE-EN 12207:2017 [10] de las carpinterías, que son 9 y $3 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, respectivamente. Se ha apoyado a la hora del estudio y de la suposición anterior en la web de la consultoría energética AUREA [14]. Estos valores se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 17. Valores de permeabilidad del hueco.

	Permeabilidad del hueco ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$)	Permeabilidad del hueco ($\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$)	Permeabilidad del hueco (ren/h)
Límite inferior	2.16	0.0006	0.82
Límite superior	27	0.0075	10.28
Suposición para cerramientos de alta calidad	2.16	0.0006	0.82
Suposición para cerramientos de baja calidad	3.938	0.0011	1.5

En el software, por tanto, se creará una clase del tipo “ZoneInfiltration:DesignFlowRate”, donde se introducirá el método de cálculo de flujo por área para cada uno de los objetos creados para cada zona. A cada objeto (zona) creada se le enlazará su zona correspondiente en cada campo, así como un horario de “Always-ON” ya que estas se dan durante todo el día. Por último, se le asignan valores de $0.0011 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$ en todas las zonas, salvo para el salón, que ya posee los cerramientos de mayor calidad, donde se le dará un valor de $0.0006 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}^2$.

2.5.3. Iluminación

En el caso de la iluminación, en la clase “Lights”, se debe asignar de igual manera que para el caso de la ventilación, un objeto por cada zona a la que se le quiera añadir un sistema de iluminación. Para cada una de las zonas, se debe conocer el inventario de luces y tipo de montaje, ya que la fracción de calor de las luces que va hacia el interior de la zona como radiación visible (onda corta) y como radiación térmica (onda larga) varían en función del tipo de luminaria.

Para el tipo de luminaria y sus valores térmicos aproximados se han tomado de la web de la compañía DesignBuilder Software Ltd [11] los siguientes:

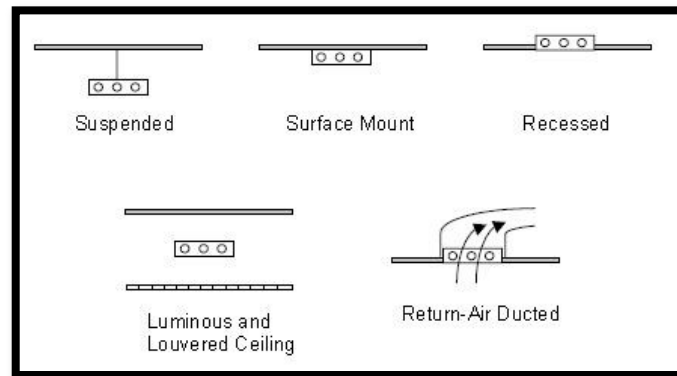


Ilustración 32. Tipo de luminaria.

Data	1-Suspended	2-Surface Mount	3-Recessed	4-Luminous and Recessed Ceiling	5-Return-air Ducted
Return Air Fraction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.54
Radiant Fraction	0.42	0.72	0.37	0.37	0.18
Visible Fraction	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Convected Fraction	0.40	0.10	0.45	0.45	0.10

Ilustración 33. Valores térmicos aproximados.

Una vez que se tienen las características de las diferentes luminarias para introducir en el software, se procede a hacer un inventario del tipo de luces, potencia y tipo de luminaria. El inventario que se tiene en la vivienda es la siguiente:

Tabla 18. Inventario de iluminación de la vivienda.

Zona	Pot. U (W)	Nº	Pot. T (W)	Tipo de bombilla	Tipo de luminaria
Z02-COCINA	8	1	8	LED	Surface Mount
Z03-SALON	7	8	56	LED	Suspended
Z05-BAÑO1	5	3	15	LED	Recessed
Z07-BAÑO2	7	1	11.5	LED	Suspended
	4.5	1			
Z08-HAB1	20	1	20	LED	Recessed
Z09-HAB2	18	1	18	LED	Recessed
Z10-HAB3	7	3	21	LED	Suspended

En el *Anexo III* Se adjuntan fotografías de las distintas luces y bombillas de la vivienda.

2.5.4. Masa interna

Otra carga interna producida en la vivienda es la correspondiente a la que produce el mobiliario de esta, en cada una de las zonas. Esta carga actúa aumentando la inercia térmica del edificio, absorbiendo parte de la carga térmica durante el día o la noche y aportándola durante la parte del día contraria.

Para el caso del verano, el mobiliario baja de temperatura durante las horas nocturnas y durante las primeras horas del día absorbe parte del calor que empieza a recibir la estancia. Por el contrario, para el caso del invierno, durante el día el mobiliario absorbe parte del calor que recibe la estancia y lo libera las primeras horas de la noche. Por tanto, este efecto de inercia térmica es un efecto amortiguador.

Aunque desde este punto de vista, el efecto de la masa interna pueda parecer siempre positivo, no lo es. Y es que, dependiendo de la ventilación de la estancia o la exposición de esta carga interna a la radiación, por ejemplo, puede requerir un mayor consumo de climatización debido a que parte de la energía que se produce con este objeto es absorbida por el mobiliario.

Una vez explicado el concepto de masa interna, esta se debe añadir en EnergyPlus en tres pasos. Los dos primeros pasos siguen el mismo criterio que el utilizado para crear los cerramientos, crear el material (Madera en este caso. Tabla 19) y asignarlo a una construcción (llamado “Mobiliario medio”).

Tabla 19. Material del mobiliario.

Material	Abs. solar	Abs. térmica	Conductividad $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Calor específico $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$	R _{vapor}	Espesor (m)
Furnishing25 mm	0.55	0.9	0.15	608	1630	20	0.025

El tercer paso es crear la clase específica para esta carga interna llamada “InternalMass” y añadir un objeto por zona, asignándole la construcción anteriormente creada. Estos objetos, necesitan que se les introduzca la

superficie que ocupa el mobiliario dentro de la zona, por lo que, para el caso de la vivienda de estudio, se han seleccionado valores de un 40% de la superficie para habitaciones y salón, un 50% para la cocina y 2m² para el resto de las estancias. En resumen, la masa interna de la vivienda queda definida así:

Tabla 20. Masa interna.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		FurnitureZ01	Furni	Furn	Furn	Furn	Furn	Furni	Furn	Furn	Furn
Construction Name		Medium Furnishings	Medi	Med	Med	Med	Med	Medi	Med	Med	Mec
Zone Name		Z01-ENTRADA	Z02-	Z03-	Z04-	Z05-	Z06-	Z07-	Z08-	Z09-	Z10
Surface Area	m2	2	6	12	2	2	2	2	4,5	4,5	4,5

2.5.5. ACS

La vivienda cuenta con un sistema de captación solar, del que se desconoce el modelo y características, y al que se tiene difícil acceso.

Debido a esto y a que no existe un aporte adicional de energía, ya que el termo eléctrico no se necesita encender a lo largo del año en ningún momento, por encontrarse en todo momento suficientemente abastecido por la energía almacenada en el deposito por los captadores, se ha decidido obviar el efecto de este en el modelo energético del edificio, no ofreciendo aporte ni demanda energética alguna.

2.5.6. Equipamiento eléctrico

Otro factor a añadir para una simulación más aproximada a la realidad, es el equipamiento eléctrico de las estancias, como es el frigorífico, televisiones, horno, etc. Todo esto supone un gasto energético en la vivienda importante, por lo que se puede estudiar un posible ahorro en esta.

En primer lugar por tanto, es conocer como se paga esta energía y su precio. Para ello se aportan las facturas de los últimos 5 meses de consumo y se realiza una breve explicación de los diferentes términos que aparecen en ella.

Desglose de tu factura			
Concepto	Base	Precio unitario	Importe
Potencia	3,60 kW	0,104229 €/kW y día	11,26 €
Energía	375 kWh	0,139000 €/kWh	52,13 €
Bono social abril			0,30 €
Impuesto Eléctrico	63,69 €	5,113 %	3,26 €
Alquiler de contador			0,80 €
IVA	67,75 €	21,00 %	14,23 €
TOTAL			81,98 €

Ilustración 34. Desglose factura de la luz abril 2021.

La factura, en resumen, esta dividida en tres diferentes costes:

- ❖ Coste fijo (Potencia): es la potencia que se tiene contratada, en kW, y determina los kilovatios de los que se dispone en la vivienda para poder suministrar a todo equipo eléctrico que se tenga. Se factura por cada kilovatio contratado y día, independientemente de si se ha consumido o no.

Si se multiplica el termino base por el precio unitario y el número de días (30 en este caso), se obtienen los 11.26 €.

- ❖ Coste variable (Energía): es la energía consumida, en kWh, durante ese periodo por los equipos y es variable cada mes dependiendo de si se han utilizado mucho los equipos de la vivienda o poco.

Si se multiplica la energía del termino base por el precio unitario se obtienen los 52.13 €.

- ❖ Impuestos: existen tres tipos de impuestos la factura:

El Impuesto Electrico, que representa un 5.11% y es recaudada en nombre del gobierno y es debida a la transición a nuevas energías, antiguamente asignada a la minería.

El alquiler del contador, que pertenece a la compañía y que se suele cobrar el alquiler alrededor del euro, según las características.

El IVA, impuesto fijado por el gobierno sobre el valor añadido, del 21%, y que se aplica sobre el coste total de la factura.

A continuación, se adjunta una tabla con los consumos de los últimos 5 meses, que son de las únicas facturas de las que se dispone, al existir un cambio de compañía en marzo y no disponer de las anteriores:

Tabla 21. Facturas de la luz 2021.

Facturas 2021					
Mes	Fecha	Nº de días	Consumo (kWh)	Importe (€)	Importe total (€)
Marzo	13/03-31/03	18	180	25.02	41.89
Abril	01/04-30/04	30	375	52.13	81.98
Mayo	01/05-31/05	31	345	47.96	77.17
Junio	01/06-25/06	25	268	41.43	63.92
Julio	26/06-31/07	36	410	63.37	87.86

Una vez conocidos como se factura la luz y los consumos de la vivienda, se debe detallar de donde proviene este gasto energético (y por tanto económico), y por tanto se debe realizar un inventario de equipos con sus respectivos consumos, que, sumados a un perfil de uso, devuelve la cantidad de energía eléctrica consumida en la vivienda.

Antes del propio inventario de equipos, se han de detallar diferentes aspectos, como la forma en la que se han obtenido las diferentes potencias de los equipos y como posteriormente serán añadidas al software EnergyPlus. Todo el equipo eléctrico tiene sus imágenes adjuntas en el *Anexo IV*.

Un primer valor de dichas potencias se ha obtenido directamente de las placas características de los diferentes equipos de la vivienda, o en su defecto, de la información técnica que se puede consultar en las webs de las marcas, introduciendo el modelo de estos equipos, o bien en los documentos técnicos guardados. Debido a la antigüedad de algunos equipos o a la dificultad de acceso a su placa característica, este segundo método se ha tomado en algunos momentos como alternativa.

Los datos de los equipos se han hallado de tres formas distintas, que estarán detalladas bajo la tabla de cada

estancia.

En primer lugar, y para algunos casos, la placa característica proporciona unos valores de tensión e intensidad (generalmente en el transformador AC/DC de la fuente de alimentación) que multiplicándolos se obtiene la potencia.

Para el segundo caso, se obtienen valores de potencia máxima (rara vez son proporcionados valores de potencia típicos) que obviamente no representan el valor de funcionamiento continuo del aparato, ya que normalmente no se utiliza el cien por cien de la potencia de este, por lo que para estos casos se situará un valor relativo de 0.6 de su potencia máxima (también se relacionará al primer caso en el que se obtiene intensidad y voltaje).

En último lugar y menos común, se encontrará el consumo anual del aparato en condiciones nominales (kWh/año), del que se hará el cálculo para obtener la potencia, que será el valor que debemos introducir en el software. Para este último caso no se le aplica un factor para transformar el valor, pues el obtenido es el real.

Además de todo esto, se ha añadido un factor de utilización, ya que no siempre que uno de los convivientes se encuentre en una de las estancias, esta utilizando dicho equipo. A su vez, referente a la estimación de 0.6 del apartado anterior, se valorará el uso de otro valor para equipos con un mayor abanico de regulación de potencia como es el caso de las placas de inducción, hornos o ventiladores. Todos estos factores, así como el valor de la potencia real que se añadirá al software EnergyPlus vienen dados en sus respectivas tablas.

Se han detallado, para las diferentes estancias, los siguientes equipos:

- Habitación 3

Tabla 22. Inventario equipos habitación 3.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Factor de potencia de uso	Factor de utilización	Potencia EP (W)
PC-Portatil	230.1	0.6	0.8	110.45
TV-1	105	0.6	0.1	6.3
TV-2	60	0.6	0.3	10.8
Ventilador de techo	50	0.33	0.25	4.13
Cargadores (móvil, tablet, etc.)	30	1	0.05	1.5
Flexo (LED)	5	1	0.2	1
TOTAL				134.18

Para el caso del PC-Portatil se obtienen de la fuente de alimentación un valor de salida de 19.5V y de 11.8A.

Para el caso de la TV-1, que es la que realiza la función de televisión se le ha añadido un factor de utilización reducido.

Para el caso de la TV-2, que realiza función de segundo monitor del portátil se le ha añadido un factor de utilización de 0.3.

Para el caso del ventilador, se ha seleccionado que trabaja en el modo de velocidad uno, de tres que tiene, y se le ha añadido un factor de utilización de un cuarto, que corresponde a los meses de verano.

Para el caso de los cargadores, se contabilizan tres cargadores de diez vatios cada uno y un factor de potencia de uso de la unidad.

Para el flexo, aunque se podría haber indicado en el apartado de iluminación, como sigue un perfil distinto, se ha añadido aquí, con un factor de utilización de un quinto.

- Habitación 2

Tabla 23. Inventario equipos habitación 2.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Factor de potencia de uso	Factor de utilización	Potencia EP (W)
Máquina de coser	79	0.6	0.4	18.96
Plancha	1750	0.6	0.1	105
TV	31	1	0.6	18.6
Ventilador de torre	45	0.5	0.25	5.63
TOTAL				148.19

Para el caso de la TV se obtienen un valor típico dado por el fabricante, por esto que el factor de potencia de uso sea tenga la unidad.

- Habitación 1

Tabla 24. Inventario equipos habitación 1.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Factor de potencia de uso	Factor de utilización	Potencia EP (W)
TV	45	1	0.3	13.5
Ventilador de techo	56	0.33	0.25	4.62
TOTAL				18.12

Para el caso de la TV se obtienen un valor típico dado por el fabricante, por esto que el factor de potencia de uso sea tenga la unidad.

- Baños

Tabla 25. Inventario equipo baños.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Factor de potencia de uso	Factor de utilización	Potencia EP (W)
Maquinilla eléctrica	1.75	0.6	0.05	0.05
Secador	1800	0.6	0.05	54
TOTAL				54.05

Para el caso de la maquinilla eléctrica se obtienen de la fuente de alimentación un valor de salida de 5V y de 0.35A.

Para ambos equipos se ha añadido un factor de utilización reducido.

- Salón

Tabla 26. Inventario equipo salón.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Factor de potencia de uso	Factor de utilización	Potencia EP (W)
TV	213	1	0.9	191.7
Equipo de audio y video	88	0.6	0.9	47.52
PC-sobremesa	300	0.6	0.1	18
TOTAL				257.22

Para el caso de la TV se obtienen un valor típico dado por el fabricante, por esto que el factor de potencia de uso sea tenga la unidad.

Para el caso de la TV y el equipo de audio y video, se añade un factor de utilización cercano a la unidad ya que casi siempre que se de que haya ocupación, estos estarán funcionando.

Para el caso del PC-sobremesa, a falta de placa de características se le ha indicado un valor estimado medio para este tipo de ordenador y factor de utilización reducido debido al perfil de uso, ya que o se utiliza este, o la TV.

▪ Cocina

Tabla 27. Inventario equipo cocina.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Factor de potencia de uso	Factor de utilización	Potencia EP (W)
Cortadora de pan	150	0.6	0.05	4.5
Exprimidor	50	0.6	0.05	1.5
Freidora	1800	0.6	0.05	54
Generador agua hidrogenada	28.8	0.6	0.05	0.86
Horno	790	0.6	0.05	23.7
Microondas	1000	0.6	0.05	30
Mini horno	800	0.6	0.05	24
Frigorífico	28.65	1	1	28.65
Placas de inducción	7200	0.3	0.05	108
Thermomix	1500	0.6	0.05	45
TOTAL				320.21

Para la mayoría del equipo se ha seleccionado un factor de utilización mínimo, ya que, salvo el frigorífico, los demás equipos no se suelen utilizar simultáneamente durante el tiempo que se encuentran ocupantes en la cocina. En el caso del factor de potencia de uso se ha establecido para la mayoría de ellos el valor de 0.6 debido a que no están funcionando a pleno rendimiento casi nunca.

Para el caso del horno la ficha técnica proporciona valores de calentamiento convencional y convección forzada de 0.79 kWh y 0.85 kWh respectivamente. Se ha seleccionado el valor de calentamiento convencional.

Para el caso del frigorífico la ficha técnica proporciona un valor del consumo de energía anual de 251 kWh/año. Este valor se ha dividido entre los meses del año y el número de horas del día y se ha obtenido un valor de 28.65W, que será el valor de energía que consumirá el frigorífico por cada hora que este funcionando. Como esta está funcionando siempre el valor del factor de utilización también será 1.

Para el caso de las placas de inducción, debido a que tiene 20 niveles de intensidad y 4 diferentes superficies que pueden usarse independientemente, se ha seleccionado un factor de potencia de uso de 0.3.

- Entrada y pasillos

Tabla 28. Inventario equipo entrada y pasillos.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Factor de potencia de uso	Factor de utilización	Potencia EP (W)
Arcón congelador	140	0.6	1	84
Lavadora	22.37	0.6	1	13.42
TOTAL				97.42

Para el caso de la lavadora la ficha técnica proporciona un valor del consumo de energía anual de 196 kWh/año. Este valor se ha dividido entre los meses del año y el número de horas del día y se ha obtenido un valor de 22.37W, que será el valor de energía que consumirá el frigorífico por cada hora que este funcionando. Como esta además posee multitud de programas y velocidades se le ha asignado un factor de potencia de uso de 0.6. Para el caso del factor de utilización, se ha estimado un uso correspondiente a unas 12 horas semanales, que asignaran a los sábados.

Ambos equipos, aunque se encuentran en el garaje realmente, se han situado en la zona de la entrada y pasillos, ya que, por razones justificadas anteriormente, no existe una zona correspondiente al garaje, y como, a fin de cuentas, esto va a corresponder a un único gasto energético, esto no va a influir dentro de la estancia de zonas comunes significativamente, dependiendo de donde se sitúen, en la simulación final del modelo.

Finalmente, para introducir todos estos datos al software EnergyPlus, se crea la clase “ElectricEquipment”. Dentro de esta se crearán objetos conforme a las zonas que debemos introducir equipos (una por cada tabla del apartado anterior, salvo en el caso de la entrada y pasillo que serán dos).

Conforme a los campos a rellenar, en primer lugar, se le deberá enlazar con la zona a la que corresponden y tras ello se le debe asignar un “Schedule” y un nivel de diseño (potencia de los equipos). Finalmente, se le ha añadido un valor estimado de fracción radiante de 0.5 a los equipos.

Hay ciertos aspectos a comentar sobre esto:

- En la Z01-ENTRADA se ha incluido el arcón congelador, con un horario de “Always-ON”, ya que este se encuentra funcionando las 24 horas del día, 7 días a la semana.
- En la Z04-PASILLO1 se ha incluido la lavadora, con su respectivo horario (sábados de 08:00-20:00).

Cada uno de los objetos creados tiene su propio “Schedule:Compact”, que a diferencia de los anteriormente creados, estos solo tienen valores de 0 y 1, ya que este valor representa la fracción de la potencia que se ha introducido y esta ya ha sido dimensionada mediante los factores introducidos en las tablas superiores. De no ser así, este también es un método válido para introducir perfiles de uso y consumo de los equipos existentes.

2.5.7. Calendario de simulación

El calendario que se utilizará para la simulación del modelo viene definido por los días laborables y festivos que se dan durante el año y que adecuaremos también a las fiestas locales.

Para este modelo, el calendario afectará mínimamente a la simulación de la vivienda, ya que por el contexto personal de los inquilinos (dos personas jubiladas), el uso diario y hábitos en la vivienda se realizarán indistintamente de si corresponde a día laborable o festivo. Este es un caso excepcional, ya que, para otros casos, existirán viviendas donde sus habitantes se encuentren ausentes de ella durante las horas de más calor o más frío, reduciendo o agravando la inercia térmica del edificio.

Este calendario es por tanto el siguiente:

ENERO							FEBRERO							MARZO						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	22	23	24	25	26	27	28
25	26	27	28	29	30	31								29	30	31				
ABRIL							MAYO							JUNIO						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
			1	2	3	4					1	2			1	2	3	4	5	6
5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9	7	8	9	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16	14	15	16	17	18	19	20
19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23	21	22	23	24	25	26	27
26	27	28	29	30			24	25	26	27	28	29	30	28	29	30				
							31													
JULIO							AGOSTO							SEPTIEMBRE						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3							1			1	2	3	4	5
5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26
26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30			
							30	31												
OCTUBRE							NOVIEMBRE							DICIEMBRE						
L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
				1	2	3	1	2	3	4	5	6	7		1	2	3	4	5	
4	5	6	7	8	9	10	8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12
11	12	13	14	15	16	17	15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19
18	19	20	21	22	23	24	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26
25	26	27	28	29	30	31	29	30						27	28	29	30	31		

■ Festivo Nacional ■ Festivo Autonómico ■ Festivo Local

Ilustración 35. Calendario de simulación de la vivienda.

En la ilustración anterior se puede observar los festivos a nivel nacional, autonómico o local para la localización de la vivienda (Estepona, Málaga).

En resumen, los días festivos son:

Tabla 29. Calendario simulación.

Festividades año 2021	
Festividad	Día
Año Nuevo	1 enero
Epifanía del Señor	6 enero
Lunes siguiente al Día de Andalucía	1 marzo
Jueves Santo	1 abril
Viernes Santo	2 abril
Día del Trabajador	1 mayo
Día de San Isidro Labrador	15 mayo
Día de La Virgen del Carmen	16 julio
Lunes siguiente a la Asunción de la Virgen	16 agosto
Fiesta Nacional de España	12 octubre
Día de todos Los Santos	1 noviembre
Día de la Constitución Española	6 diciembre
Día de La Inmaculada Concepción	8 diciembre
Natividad del Señor	25 diciembre

Estos días se añadirán a EnergyPlus en la clase “RunPeriodControl:SpecialDays”, donde se pueden asignar días o periodos donde el comportamiento es diferente al normal, asignándole a todos estos días el tipo “Holiday”. Por tanto, cuando en un Schedule asignemos un comportamiento o patrón a un tipo de día en concreto, es en el calendario construido de esta manera donde comprobaremos a qué tipo de día corresponde.

2.6. Climatización

Para el caso de la climatización de la vivienda, se supondrá un sistema de climatización centralizado ideal tanto para las habitaciones como para el resto de las estancias. La presente vivienda solo dispone de un pequeño aire acondicionado y una chimenea en el salón, el resto de la climatización se realiza mediante elementos como ventiladores o estufas, lo cual conlleva a un gasto de energía importante.

Por ello, se va a suponer un sistema ideal que reparta tanto la carga de calefacción como la carga de refrigeración que genere entre las diferentes partes de la vivienda, estando estas divididas por el criterio de dos termostatos, uno para las habitaciones y otro para el resto de las estancias.

Así pues, se crean por tanto dos termostatos en la clase “HVACTemplate:Thermostat”, el primero para las habitaciones y que debe de cumplir el criterio del RITE sobre condiciones interiores de diseño (21-25°C, agrupando las condiciones de verano e invierno)[22] y el segundo al que se le asigna unas temperaturas algo más holgadas (20-27°C), ya que no se necesita cumplir estrictamente condiciones de confort.

Estos termostatos harán que el sistema funcione mientras la temperatura no sea la adecuada y se apagará cuando este entre los valores indicados, manteniendo el confort entre los convivientes.

Por último, se añade la clase “HVACTemplate:Zone:IdealLoadsAirSystem” donde se le asignará cada termostato a cada estancia, así como las demás características térmicas del sistema, como control de humedad o velocidad del aire. Este sistema posee un SHR=0.7, freecooling y recuperador de calor entálpico, con unos rendimientos del 70%, así como el caudal mínimo de aire exterior exigido por el RITE, con una calidad de aire buena (IDA2), que establece 12.5 dm³/s por persona.

2.7. Conclusión general

Con ya todos los datos de la vivienda recopilados, se van a enumerar las diferentes conclusiones que hemos ido encontrando en los anteriores apartados respecto a estos.

Debido a que los cerramientos carecen de aislante y a la mala calidad de algunos huecos, se prevee un mayor consumo de potencia de lo esperado. Un mejor aislamiento será estudiado más adelante.

Respecto a la climatización, debido a que no existen estufas ni radiadores para la calefacción en la vivienda, por lo que esta es inexistente y se estudiarán posibles soluciones, de ser necesario, con equipos de bajo consumo y alta eficiencia.

En relación con la iluminación, existe un buen inventario de luces, todas LED en las diferentes zonas, por lo que el consumo de estas será bajo, con un buen nivel de iluminación. Para el caso de algunas zonas, como el caso del salón o baños, quizás existen demasiados puntos de luz separados mínimamente. Por lo tanto, de poderse plantear una mejora en este aspecto, sería de acuerdo con la reducción de estos puntos.

Respecto a los equipos eléctricos, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), estima que un 10.7 % de todo el consumo de energía que realizan los electrodomésticos y equipos, corresponde al Standby de los mismos [12]. Por ello, se recomienda instalar regletas con interruptor que eviten que se produzca consumo eléctrico por las noches o en momentos que estos no se están utilizando durante el día. Esta medida de ahorro es sencilla y barata.

Para terminar, medidas sencillas y baratas son aquellas que en gran medida dependen del comportamiento y uso que realizan los convivientes. Estas son por ejemplo el uso de la iluminación eficientemente, intentando aprovechar las horas de luz en las estancias este-oeste según si es mañana o tarde lo máximo posible o el apagado de las mismas al abandonar las estancias. Otra medida es utilizar los equipos correctamente, como es el caso del arcón frigorífico, el congelador del frigorífico o el horno, que producen escarcha o suciedad y que a la larga supone un aumento de consumo para llevar a cabo las mismas funciones.

3 MODELO TÉRMICO BASE

Se va a realizar una simulación primera de como funciona el edificio actualmente. Estos van a arrojar unos datos y resultados iniciales que serán estudiados y que proporcionaran una idea sobre que problemas energéticos son más notorios y de qué manera atajarlos.

Con relación al software utilizado, es necesario introducir como salidas todos aquellos datos que se desean conocer, para ello, el programa dispone de un diccionario al que se podrá acceder tras una pequeña prueba de simulación inicial. Este diccionario, en formato “RDD”, se podrá acceder desde el menú inicial del propio software, como con el archivo, del mismo formato, generado en la carpeta en que se encuentre el proyecto.

Ya habiéndose decidido que variables se quieren obtener como salidas, se procede a su introducción en la clase “Output:Variable”, con una frecuencia horaria. Una vez el programa tiene determinadas las salidas, que vendrán recogidas en un archivo Excel que será generado en la misma carpeta del proyecto, se pueden utilizar para generar tablas de datos que nos muestren simplificados los resultados, como son sumatorios anuales, máximos, mínimos, valores positivos, valores nulos, etc. Estos objetos se generarán mediante la clase “Output:Table:Monthly”, en formato “html”.

Todos los objetos vienen recopilados en la siguiente tabla:

- Variables de salida:

Tabla 30. Variables de salida “Output:Variable”.

Nº	Nombre de la variable	Descripción de la variable	Unidades de la variable
1	<i>“Site Outdoor Air Drybulb Temperature”</i>	Temperatura seca del aire exterior	°C
2	<i>“Zone Mean Air Temperature”</i>	Temperatura media del aire de la zona	°C
3	<i>“Zone Windows Total Transmitted Solar Radiation Rate”</i>	Radiación solar total transmitida a través de las ventanas por zonas	W
4	<i>“Site Diffuse Solar Radiation Rate per Area”</i>	Radiación solar difusa por superficie	W/m ²
5	<i>“Site Direct Solar Radiation Rate per Area”</i>	Radiación solar directa por superficie	W/m ²
6	<i>“Zone Infiltration Mass Flow Rate”</i>	Flujo de aire de infiltración por zonas	Kg/s
7	<i>“Zone Infiltration Air Change Rate”</i>	Renovaciones del aire por infiltración por zonas	Ach = ren/h
8	<i>“Zone People Occupant Count”</i>	Ocupación de la zona	pers
9	<i>“Zone People Total Heating Rate”</i>	Carga de calefacción por la ocupación por zona	W
10	<i>“Lights Electric Power”</i>	Potencia eléctrica de la iluminación	W
11	<i>“Electric Equipment Electric Power”</i>	Potencia eléctrica de los equipos	W

12	<i>“Zone Ideal Loads Zone Total Heating Rate”</i>	Potencia de calefacción por zona	W
13	<i>“Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate”</i>	Potencia de refrigeración por zona	W
14	<i>“Zone Lights Electric Power”</i>	Potencia eléctrica de la iluminación por zonas	W
15	<i>“Zone Electric Equipment Electric Power”</i>	Potencia eléctrica de los equipos por zonas	W
16	<i>“Zone Ideal Loads Supply Air Total Heating Energy”</i>	Consumo térmico de calefacción por zonas	kWht
17	<i>“Zone Ideal Loads Supply Air Total Cooling Energy”</i>	Consumo térmico de refrigeración por zonas	kWht
18	<i>“Zone Ideal Loads Supply Air Standard Density Volume Flow Rate”</i>	Densidad estándar del flujo de aire suministrado por zona	m ³ /s
19	<i>“Lights Electric Energy”</i>	Consumo de la iluminación	kWhe
20	<i>“Electric Equipment Electric Energy”</i>	Consumo del equipo eléctrico	kWhe
21	<i>“Zone Lights Electric Energy”</i>	Consumo de la iluminación por zonas	kWhe
22	<i>“Zone Electric Equipment Electric Energy”</i>	Consumo del equipo eléctrico por zonas	kWhe
23	<i>“Zone Ideal Loads Supply Air Total Heating Rate”</i>	Carga de calefacción por zonas	W
24	<i>“Zone Ideal Loads Supply Air Total Cooling Rate”</i>	Carga de refrigeración por zonas	W
25	<i>“Zone Windows Total Heat Loss Rate”</i>	Perdidas totales de calor a través de ventanas por zonas	W
26	<i>“Zone Windows Total Heat Gain Rate”</i>	Ganancias totales de calor a través de ventanas por zonas	W

- Tablas mensuales:

Tabla 31. Tablas mensuales de salida “Output:Table:Monthly”.

Variable utilizada en la tabla		Descripción de la tabla	Unidades de la tabla
1	<i>“Zone Ideal Loads Supply Air Total Heating Energy” y “Zone Ideal Loads Supply Air Total Cooling Energy”</i>	Consumo térmico de refrigeración y calefacción por zonas	kWht
2	<i>“Zone Electric Equipment Electric Energy”</i>	Consumo del equipo eléctrico por zonas	kWhe
3	<i>“Zone Lights Electric Energy”</i>	Consumo de la iluminación por zonas	kWhe

Una vez conocidos qué tipos de resultados se van a obtener, se puede proceder a su estudio mediante los softwares Dview y/o Excel.

En primer lugar, en la simulación se han obtenido los datos de consumo por calefacción, refrigeración, equipos eléctricos e iluminación para las diferentes zonas, que vienen recogidos en la Tabla 32 y Tabla 33. Dicha tabla recoge los valores de calefacción y refrigeración en energía térmica, así como los valores de equipos eléctricos e iluminación en energía eléctrica.

Para algunas de las zonas y habiéndose explicado anteriormente, como es el caso de los pasillos o entrada, carecen de termostato, y por tanto no se realiza climatización alguna en ellos.

Algunas de estas mismas zonas, carecen de equipamiento eléctrico, como en el caso del pasillo y baño de la planta superior. Para el caso de la entrada y el pasillo de la planta primera, se recuerda que se les ha asignado el consumo del arcón congelador y la lavadora, respectivamente.

En el caso de la iluminación, como suposición, hay tres zonas a las que no se les ha asignado consumo alguno, esto se debe a que son zonas de paso, por lo que la gran mayoría del tiempo se encuentran en desuso.

Así, los datos de consumo en cuestión:

Tabla 32. Consumos energéticos de la vivienda por zonas.

	CALEFACCIÓN (kWht)	REFRIGERACIÓN (kWht)	EQUIPOS (kWhe)	ILUMINACIÓN (kWhe)
Z01-ENTRADA	-	-	735.84	-
Z02-COCINA	98.88	195.54	898.19	14.6
Z03-SALON	464.81	300.13	1032.74	224.84
Z04-PASILLO1	-	-	821.3	-
Z05-BAÑO1	7.17	7.49	19.73	5.47
Z06-PASILLO2	-	-	-	-
Z07-BAÑO2	58.05	8.41	-	8.39
Z08-HAB1	638.61	291.18	88.06	14.6
Z09-HAB2	369.35	445.15	557.94	45.99
Z10-HAB3	425.87	470.78	688.34	38.74
TOTAL (kWh/año)	2062.74	1718.68	4842.14	352.63

Tabla 33. Consumos energéticos de la vivienda por meses.

	CALEFACCIÓN (kWht)	REFRIGERACIÓN (kWht)	EQUIPOS (kWhe)	ILUMINACIÓN (kWhe)
ENERO	562.46	-	405.79	30.6
FEBRERO	425.84	-	372.77	27
MARZO	275.71	0.05	406.9	29.04
ABRIL	62.49	0.53	394.6	27.94
MAYO	9.31	63.45	405.79	28.9
JUNIO	-	250.45	395.7	28.09
JULIO	-	506.33	421.89	28.9
AGOSTO	-	537.64	406.35	28.97
SEPTIEMBRE	-	324	411.25	28.01
OCTUBRE	9	36.23	405.79	28.9
NOVIEMBRE	173.72	-	395.15	28.97
DICIEMBRE	544.22	-	420.23	29.68
TOTAL (kWh/año)	2062,75	1718,68	4842.21	345.00

Tabla 34. Carga punta de calefacción y de refrigeración (W).

	PICO DE CALEFACCIÓN (W)	FECHA	PICO DE REFRIGERACIÓN (W)	FECHA
Z02-COCINA	570	07-MAR-07:00	540	22-JUL-15:00
Z03-SALON	1620	07-MAR-08:00	405	22-JUL-15:00
Z05-BAÑO1	210	07-MAR-15:00	225	22-JUL-15:00
Z07-BAÑO2	470	19-JAN-07:00	250	23-JUL-21:00
Z08-HAB1	690	06-MAR-22:00	370	22-JUL-22:00
Z09-HAB2	900	19-JAN-11:00	415	23-JUL-16:00
Z10-HAB3	530	15-JAN-02:00	400	22-JUL-16:00

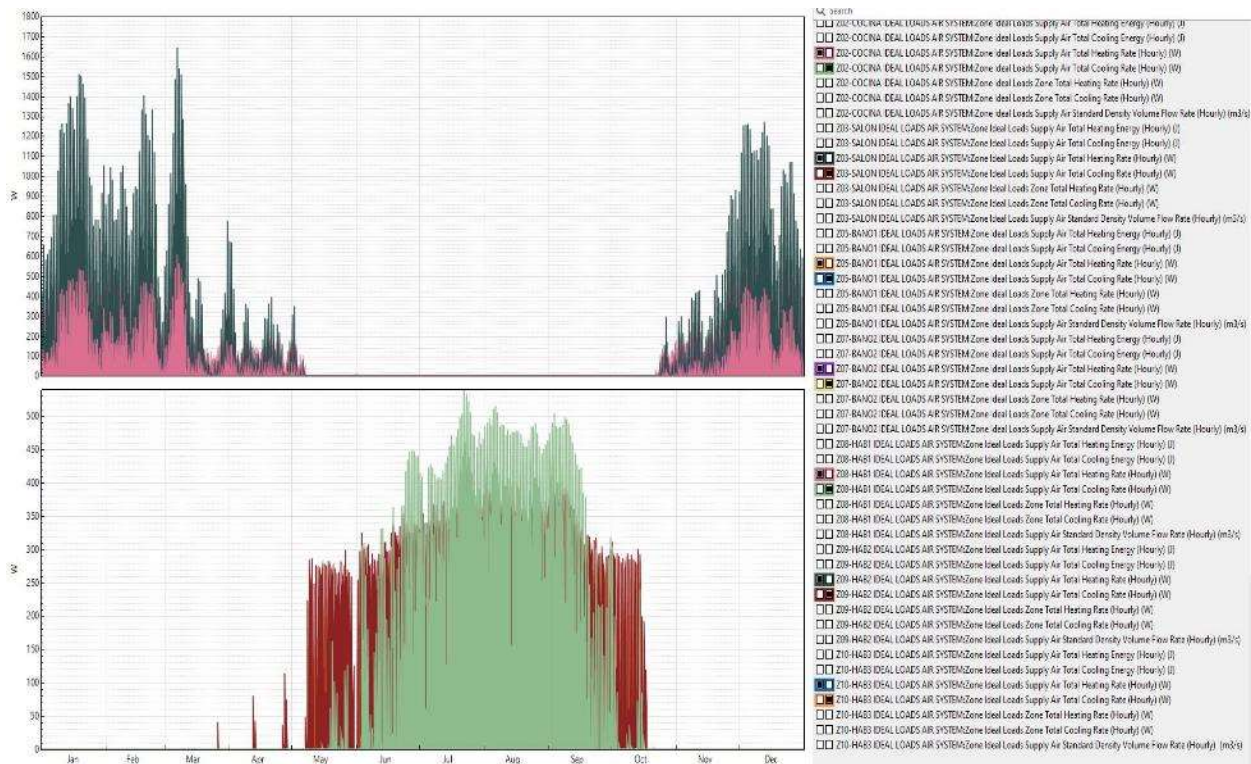


Ilustración 36. Cargas por horas de calefacción y refrigeración (W).

En una primera observación, se ve que la demanda de calefacción es superior a la refrigeración, esto puede deberse principalmente a la calidad de la envolvente, así como el estado de los cerramientos, ya que en verano la ventilación durante la noche es beneficiosa, pero durante el invierno, tanto de día como de noche, la vivienda esta cediendo en gran medida calor al ambiente (demandada en este caso por los ocupantes). Por tanto, desde el punto de vista de las infiltraciones y la ventilación, en verano existe un periodo del día en la que estas son desfavorables (día) y uno que son favorables (noche), mientras que, durante el invierno, ambos periodos son desfavorables.

Además, para poder comparar los datos eléctricos que se tienen respecto a equipos e iluminación, se han traducido los valores térmicos de calefacción y refrigeración mediante sus coeficientes de rendimiento y eficiencia. Como no se disponen de instalaciones previas ni de calefacción ni de refrigeración en la vivienda, el Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X [8] nos indica que

valores tomar para estos coeficientes:

- COP = 1.9906
- EER = 3.0785

Estos valores por defecto corresponden al rendimiento estacional de una bomba de calor convencional.

Por tanto, una vez se ha hecho la equivalencia, obtenemos:

Tabla 35. Consumos eléctricos de la vivienda por zonas.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)	EQUIPÓS (kWhe)	ILUMINACIÓN (kWhe)
Z01-ENTRADA	-	-	735.84	-
Z02-COCINA	49.67	63.52	898.19	14.6
Z03-SALON	233.50	97.49	1032.74	224.84
Z04-PASILLO1	-	-	821.3	-
Z05-BAÑO1	3.60	2.43	19.73	5.47
Z06-PASILLO2	-	-	-	-
Z07-BAÑO2	29.16	2.73	-	8.39
Z08-HAB1	320.81	94.59	88.06	14.6
Z09-HAB2	185.55	144.60	557.94	45.99
Z10-HAB3	213.94	152.93	688.34	38.74
TOTAL (kWhe/año)	1036.24	558.28	4842.14	352.63

Tabla 36. Consumos eléctricos de la vivienda por meses.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)	EQUIPOS (kWhe)	ILUMINACIÓN (kWhe)
ENERO	282.56	-	405.79	30.6
FEBRERO	213.93	-	372.77	27
MARZO	138.51	-	406.9	29.04
ABRIL	31.39	0.17	394.6	27.94
MAYO	4.68	20.61	405.79	28.9
JUNIO	-	81.35	395.7	28.09
JULIO	-	164.47	421.89	28.9
AGOSTO	-	174.64	406.35	28.97
SEPTIEMBRE	-	105.25	411.25	28.01
OCTUBRE	4.52	11.77	405.79	28.9
NOVIEMBRE	87.27	-	395.15	28.97
DICIEMBRE	273.39	-	420.23	29.68
TOTAL (kWh/año)	1036.25	558.27	4842,21	345

A modo representativo, se representan dichos valores mensuales y por categorías, donde se puede observar el mayor consumo que se da en invierno.

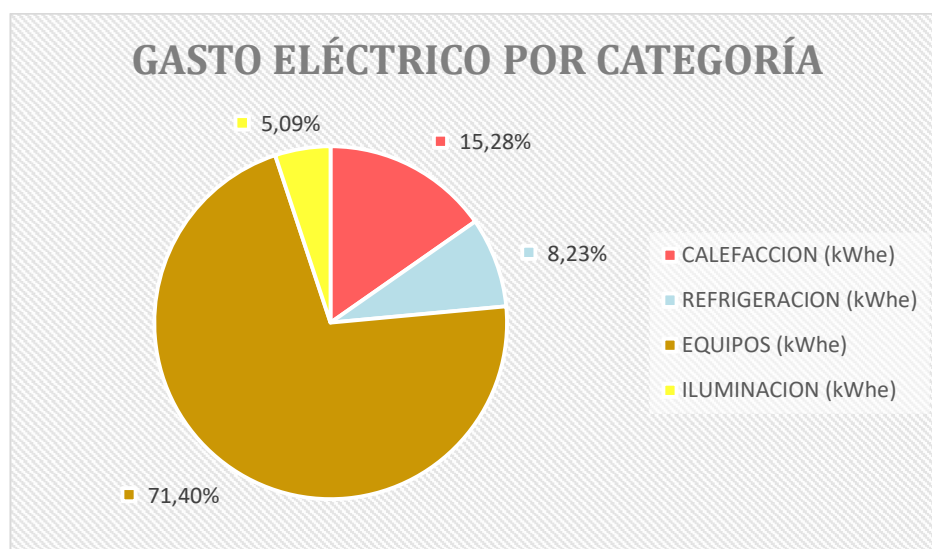


Ilustración 37. Gasto eléctrico por categoría.

En la ilustración 37 se puede observar que la mayoría del gasto es producido por los equipos de la vivienda, seguido del consumo producido la climatización en modo calefacción, todo esto supone aproximadamente el 87% del consumo total, por lo que sería de vital importancia implantar medidas que ahorren consumo en este sentido.

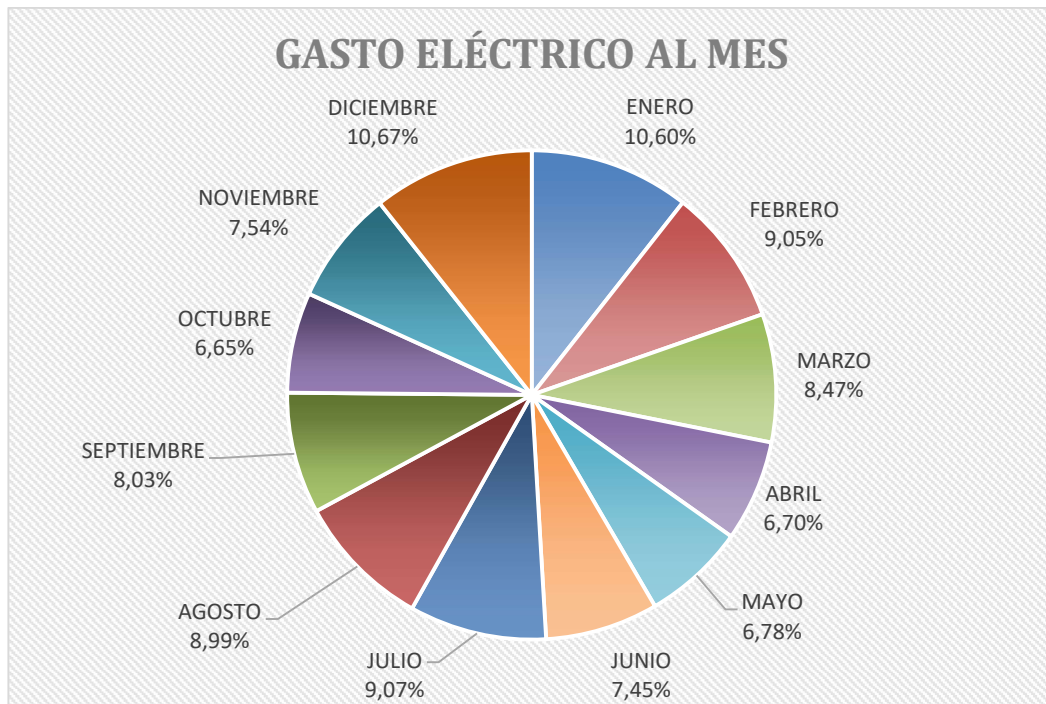


Ilustración 38. Gasto eléctrico por meses.

Aquí se puede observar que el mayor consumo se da en los meses fríos, como era de esperar, representando el gasto de los 6 meses más fríos más del 50% del consumo anual.

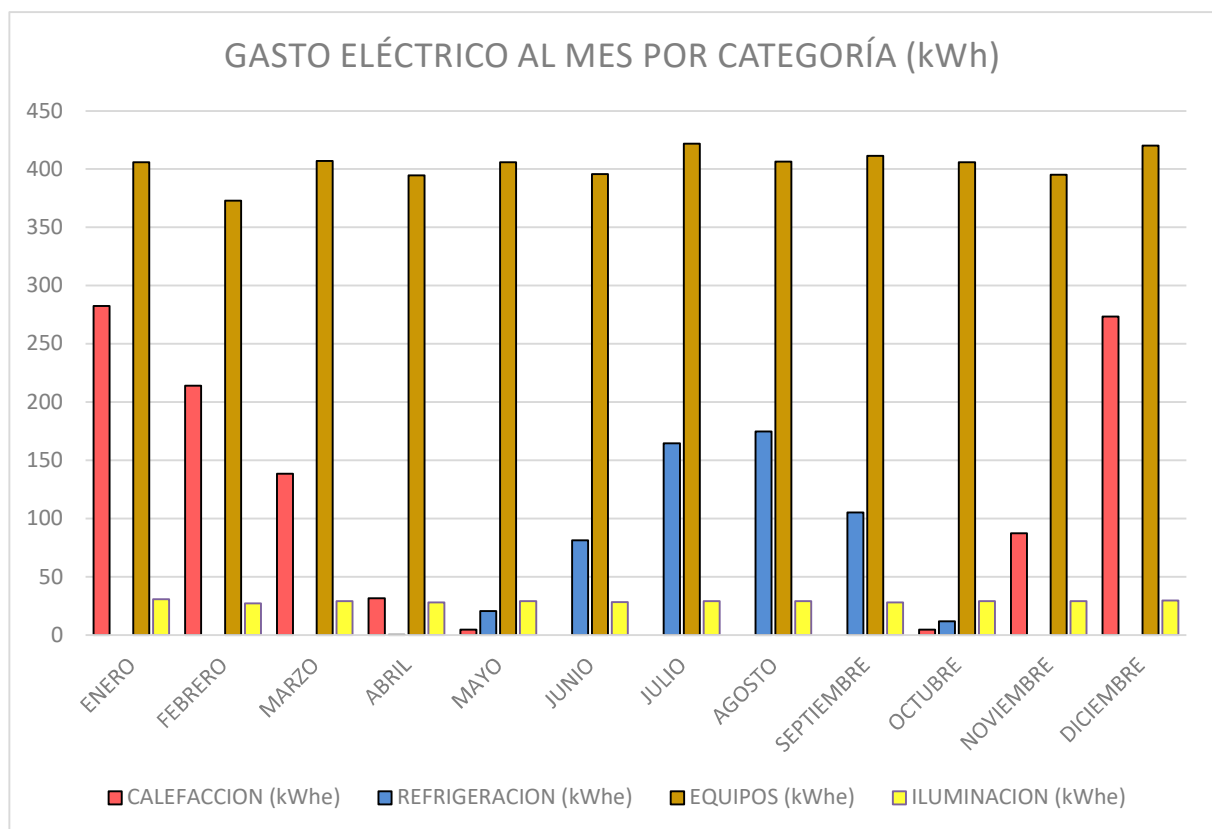


Ilustración 39. Gasto eléctrico por meses y categorías.

Por ultimo, se pueden observar qué consumos son los más representativos para cada mes.

4 ANÁLISIS DE MEDIDAS DE AHORRO

En este apartado se van a estudiar posibles vías de mejora para la vivienda una vez observados los datos y resultados base. Todas las medidas de ahorro energético (MAE) buscarán, por tanto, satisfacer unas necesidades de ahorro energético en la vivienda y que, a final de cada año, implique una reducción del impacto tanto económico como energético de la misma.

Todas las medidas que se van a proponer están estudiadas sobre el modelo térmico base de esta, con objeto de poderlas observar independientemente y poder seleccionar aquellas que puedan parecer más viables, económica o térmicamente, si es que se decidiese llevar a cabo solo algunas de ellas. Para cada una de las medidas vendrá indicado un porcentaje de ahorro respecto al modelo térmico base.

Si se desean llevar a cabo varias medidas en conjunto, simplemente se habrían de implantar a la vez en una nueva simulación térmica de la vivienda, obteniendo un resultado complementario de estas.

Cada una de las mejoras estudiadas, tienen como objetivo paliar los mayores consumos o demandas de la vivienda, observados gráficamente más arriba y que objetivamente nos van a guiar sobre cuáles son los déficits de la vivienda y por donde plantear dichas mejoras. El grado de complejidad de las mejoras a estudiar van a variar desde cambios en la envolvente del edificio, a simples cambios de hábitos o adquisición de equipos y aparatos.

4.1. MAE 1: Se añade un sistema de aislamiento térmico exterior (SATE)

La primera medida de ahorro energética trata de la incorporación de un material aislante en la cara exterior de los cerramientos. Esta medida, llamada comúnmente “SATE”, siglas de sistema de aislamiento térmico exterior, esta siendo utilizada en gran medida durante los últimos años en rehabilitaciones de edificios, en gran parte debido, a que no necesita prácticamente de obra para ser llevada a cabo.

La tecnología SATE se compone de planchas de diferentes aislantes que cubren la envolvente, colocadas encima de soportes y fijadas mediante espigas y mortero adhesivo, con refuerzo de una malla.

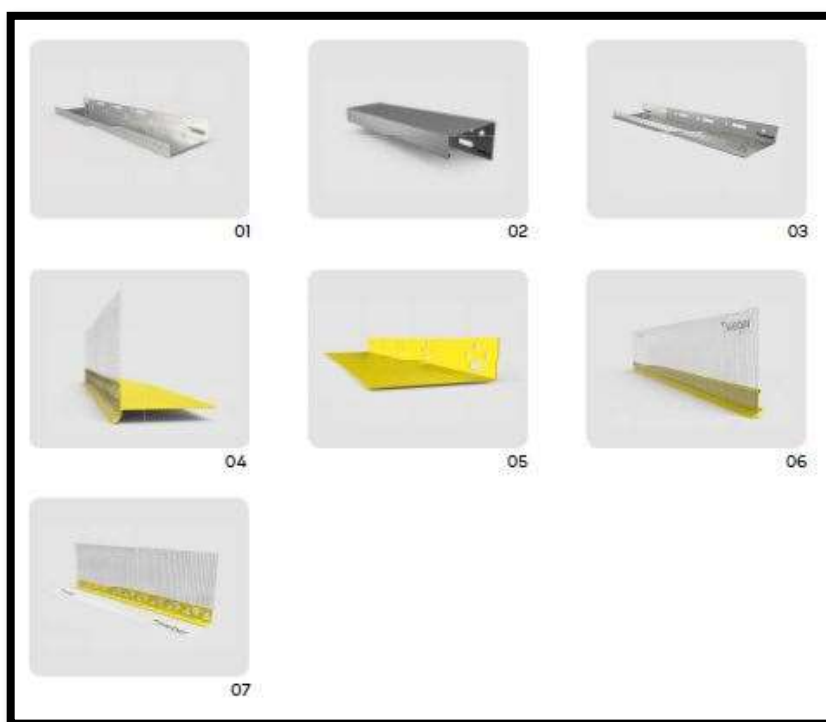


Ilustración 40. Perfiles de soporte.

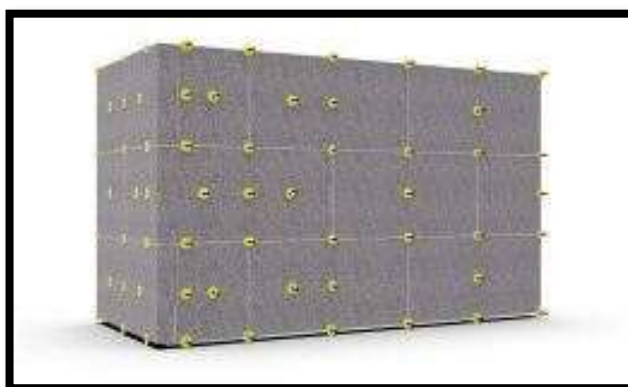


Ilustración 41. Espigas y placas.

Para este proyecto, se han utilizado los modelos que tienen la empresa Weber [13]. Estos modelos de planchas varían según su material y espesor. La empresa ofrece planchas de aislantes como son la lana de vidrio, de roca, EPS, EPS grafito, XPS, corcho y un mortero a base de cal, llamada “Aislone”, todas estas placas proporcionan confort acústico, confort térmico, seguridad en caso de incendio y una atmosfera interior más saludable, ya que dificulta la formación de humedades o mohos.

Para el caso del presente estudio se ha seleccionado la placa “clima 34” de lana de vidrio, que posee las siguientes características:

- Aislamiento térmico: $\lambda=0.034$ W/mK
- Aislamiento acústico: -6.0 dB en 4 cm
- Reacción al fuego: A2 s1 d0 *
- Densidad: 55 kg/m³

*El código sobre la reacción al fuego viene definido por la norma UNE EN 13501-1, donde A2 indica que el material es no combustible, no contribuye al fuego, s1 que implica una producción baja de humos y d0 que no se producen gotas/partículas.

Se ha seleccionado este material debido a que aun no presentando el mejor nivel de aislamiento, como es el caso del EPS grafito, que tiene un valor de $\lambda=0.032$ W/mK, la lana de vidrio no presenta una alta contribución al fuego (clase E) como sí lo es este ultimo.

Una vez aclarado esto, se añade el material a la correspondiente categoría y posteriormente a las diferentes construcciones exteriores en su capa exterior. Una vez realizado esto se procede a la simulación (se ha obviado mostrar los datos sobre equipos e iluminación, ya que esta medida no afecta a estos) y cuyos resultados obtenidos son:

Tabla 37. Simulación con MAE 1.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
ENERO	238.85	-
FEBRERO	179.75	-
MARZO	111.03	0.07
ABRIL	19.65	0.43
MAYO	2.47	25.63
JUNIO	-	90.61
JULIO	-	169.44
AGOSTO	-	178.51
SEPTIEMBRE	-	114.02
OCTUBRE	2.16	15.22
NOVIEMBRE	66.07	-
DICIEMBRE	230.77	-
TOTAL (kWh/año)	850.75	593.92

Esto supone respecto al modelo base:

Tabla 38. Ahorro con MAE 1.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
BASE	1036.25	558.27
MAE 1	850.75	593.92
AHORRO (%)	17.9	-6.39

Una vez comparados los resultados, vemos que esta medida proporciona un ahorro en calefacción durante el invierno, debido a que la vivienda esta mejor aislada térmicamente. Por el contrario, aunque en menor medida, durante el verano el propio aislamiento impide la evacuación del calor producido por las cargas internas, además del propio ambiente e infiltraciones, esto supone un empeoramiento en refrigeración.

En resumen, la MAE produce un balance de mejora del 11.51%, por lo que es una medida que supondría un importante ahorro y que tiene el visto bueno de ser llevada a cabo.

4.2. MAE 2: Se añade mejora de las ventanas

Debido a que las ventanas en la mayoría de las estancias, salvo en el salón, son antiguas (como ya se ha comentado anteriormente), la medida de ahorro energético número 2 que se va a llevar a cabo es la mejora de las ventanas de la vivienda, con un mejor vidrio y carpintería de estas.

Se han tomado como referencia los vidrios y marcos instalados en el salón, y así extender este tipo de ventana por el resto de los huecos.

Las ventanas están adaptadas a los diferentes huecos de la vivienda, según donde se van a situar, con sus

respectivos divisores y características propias de los marcos.

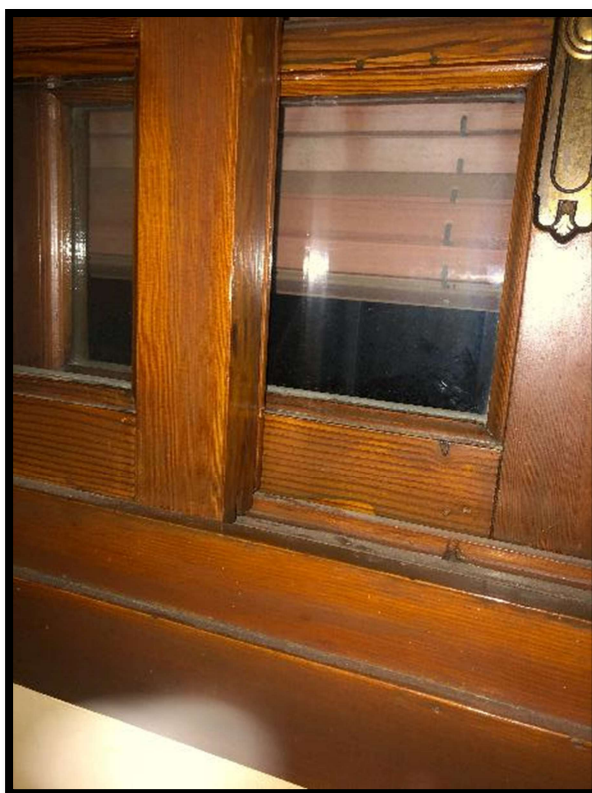


Ilustración 42. Ventana antigua.



Ilustración 43. Ventana nueva.

Por tanto, una vez se han añadido a las diferentes ventanas el vidrio doble y los marcos nuevos, se procede a la

simulación y comparación de resultados:

Tabla 39. Simulación con MAE 2.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
ENERO	196.37	-
FEBRERO	143.67	-
MARZO	84.29	0.09
ABRIL	8.06	0.59
MAYO	0.90	34.74
JUNIO	-	102.21
JULIO	-	174.51
AGOSTO	-	182.36
SEPTIEMBRE	-	121.92
OCTUBRE	0.49	21.20
NOVIEMBRE	42.63	-
DICIEMBRE	190.24	-
TOTAL (kWh/año)	666.65	637.63

Esto supone respecto al modelo base:

Tabla 40. Ahorro con MAE 2.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
BASE	1036.25	558.27
MAE 2	666.65	637.63
AHORRO (%)	35.67	-14.21

Como puede observarse aquí, se produce un gran ahorro respecto a la calefacción, aunque como ocurren con la MAE 1, se producen pérdidas respecto a la refrigeración, aunque también en menor medida. El balance del ahorro energético es de 21.46%, por lo que también es una medida para llevarse a cabo, incluso en mayor medida que la MAE 1.

4.3. MAE 3: Se añade free cooling nocturno

Como se ha comentado anteriormente, existe una etapa durante el año, donde se dan condiciones exteriores mejores que en muchos casos interiores, como es durante las noches de verano. Durante esta etapa, el aire exterior se encuentra a menor temperatura que el aire interior de la vivienda, por lo que se puede obtener un enfriamiento de las estancias gratuito, realizado manualmente mediante ventilación (abriendo ventanas y/o puertas) o automáticamente mediante la máquina de climatización instalada. Todo esto puede observarse en la Ilustración 44 [15]:

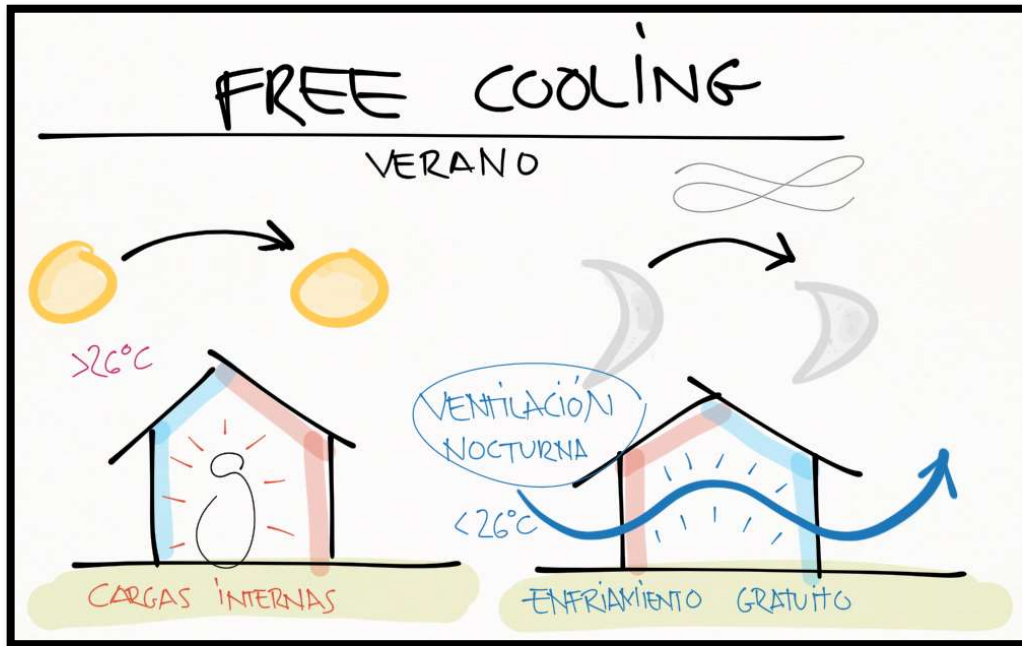


Ilustración 44. Free cooling nocturno.

En cualquier caso, esto aporta una disminución del consumo de refrigeración que pueda darse durante la noche, así como una inercia térmica que ayuda a la disminución de esta durante las primeras horas del día.

Como su propio nombre indica, al tratarse de ventilación gratuita, será una MAE muy provechosa y sencilla de llevarse a cabo.

Para llevarla a la práctica en nuestro modelo se han creado dos objetos de la clase "Schedule:Compact", que representan un horario en el que se va a dar esta ventilación gratuita y una ventilación típica normal. La ventilación gratuita la situamos entre las 00:00-07:00 horas de la noche, durante los meses de junio, julio y agosto. Todo lo que no se de durante este periodo, se dejará con una ventilación igual a la del modelo base, y que tendrá una nomenclatura de "Infil-NAT", con un horario opuesto al que se le asignará al objeto "Infil-NOC", que seguirá el horario anterior, con un valor de infiltraciones de 4 ren/h.

Una vez introducidos estos objetos y simulado el modelo se obtiene:

Tabla 41. Simulación con MAE 3.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
ENERO	282.56	-
FEBRERO	213.93	-
MARZO	138.51	0.02
ABRIL	31.39	0.17
MAYO	4.68	20.61
JUNIO	0.40	58.50
JULIO	-	145.90
AGOSTO	-	161.00
SEPTIEMBRE	-	104.81
OCTUBRE	4.55	11.74
NOVIEMBRE	87.47	-
DICIEMBRE	273.70	-
TOTAL (kWh/año)	1037.18	502.75

Esto supone respecto al modelo base:

Tabla 42. Ahorro con MAE 3.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
BASE	1036.25	558.27
MAE 3	1037.18	502.75
AHORRO (%)	-0.09	9.94

Se puede observar que esta medida apenas afecta al consumo de calefacción (como era de esperar) al darse solo durante el verano y en gran medida respecto al consumo de refrigeración, situándose el balance de ahorro en un 9.85%, convirtiéndose por tanto en una medida interesante para llevarse a cabo, además de sencilla.

4.4. MAE 4: Se añaden toldos

La siguiente medida de ahorro energético se centra en la demanda de refrigeración, que se da especialmente durante los meses cálidos (verano).

Esta medida consta de la instalación de toldos en las diferentes ventanas con orientación este u oeste. Estos toldos se han supuesto con unas medidas de un metro de largo y de anchura algo superior a la anchura de cada una de las ventanas. Están situados con una inclinación respecto a la fachada de 40°.

Estos toldos están añadidos mediante objetos de sombra en SketchUp, por lo que, supuestos así, no es necesario definir un color o material de estos o propiedades térmicas.

La función de los toldos es evitar la radiación incidente en las peores horas del día, horas donde el sol se encuentra más elevado (horas centrales del día) y durante los meses que el sol alcanza mayor altura, que son los correspondientes al verano. Los toldos por tanto a horas cercanas a la puesta o salida del sol dejarán pasar la luz solar por sus laterales, o en invierno, al estar este más bajo.

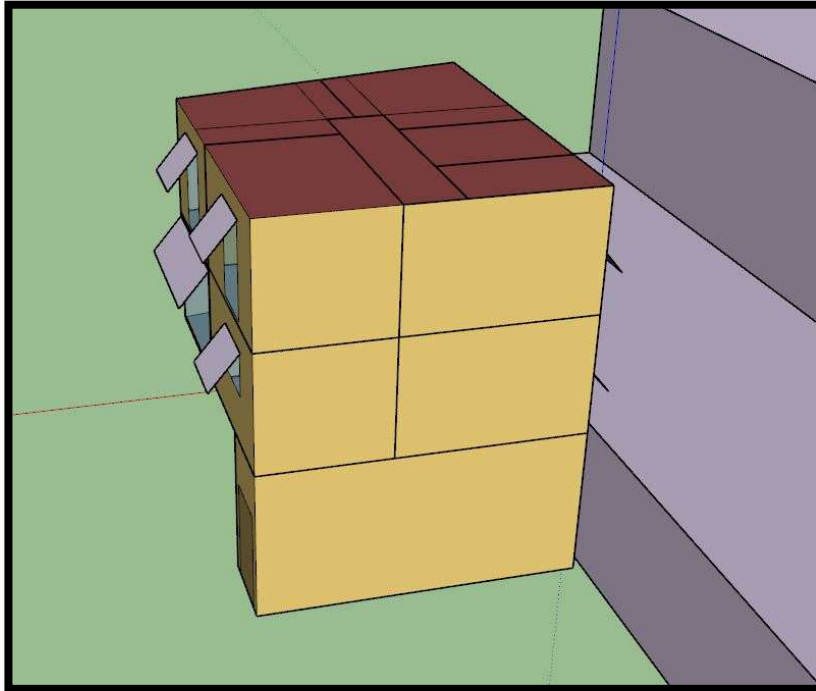


Ilustración 45. Toldos fachada este.

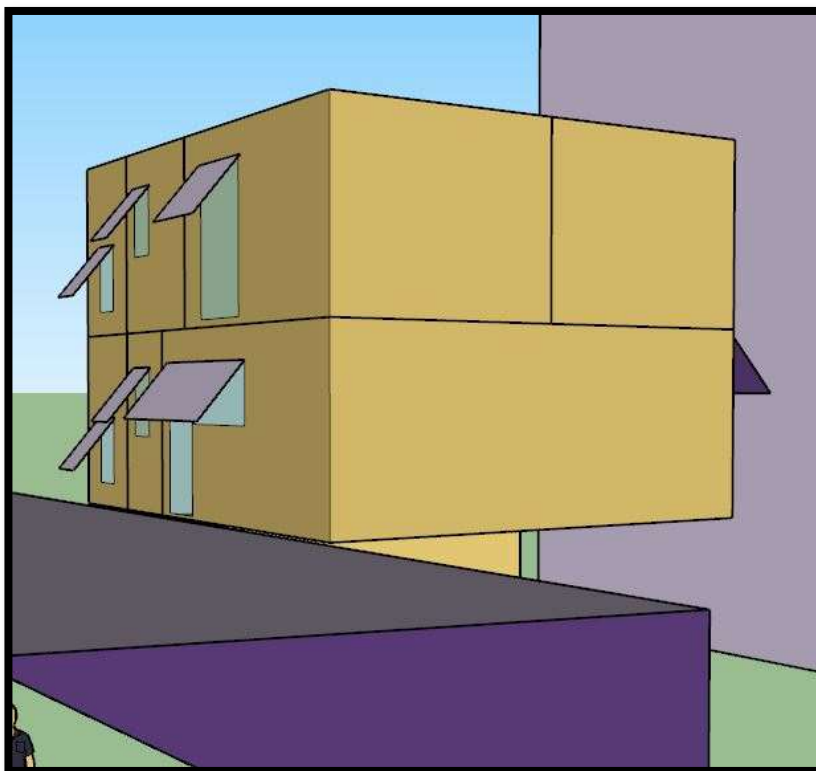


Ilustración 46. Toldos fachada oeste.

Por tanto, una vez introducidos en EnergyPlus y realizada la simulación, se obtiene:

Tabla 43. Simulación con MAE 4.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
ENERO	309.71	-
FEBRERO	241.33	-
MARZO	165.95	-
ABRIL	50.25	-
MAYO	7.79	6.99
JUNIO	0.04	50.09
JULIO	-	146.30
AGOSTO	-	161.35
SEPTIEMBRE	-	85.47
OCTUBRE	6.52	6.46
NOVIEMBRE	103.32	-
DICIEMBRE	298.90	-
TOTAL (kWh/año)	1183.80	456.67

Esto supone respecto al modelo base:

Tabla 44. Ahorro con MAE 4.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)
BASE	1036.25	558.27
MAE 4	1183.80	502.75
AHORRO (%)	-14.24	18.20

La MAE 4, como era de esperar produce un ahorro en refrigeración, aunque también produce elevadas pérdidas respecto a calefacción. Estos resultados pueden deberse al grado de inclinación del toldo o a la longitud de este.

Por tanto, una forma de optimizar estos resultados podría darse reduciendo la longitud de este o situándolo con una inclinación respecto a la fachada mayor, para detener más exclusivamente los rayos más verticales (similar a un voladizo).

Otro aspecto por considerar es que durante los meses mas fríos estos van a estar recogidos, por lo que el consumo del modelo con la MAE 4 realmente será menor. Aún teniendo en cuenta todas estas fuentes de mejora y optimización, la medida es favorable.

4.5. MAE 5: Se añaden equipos con mayor eficiencia

La MAE número 5 va a tratar de reducir el alto consumo que poseen los equipos en la vivienda, para ello, durante la toma de datos, se ha puesto el ojo en aquellos equipos que además de tener un alto consumo, son antiguos.

Estos equipos por norma general van a tener rendimientos más bajos que los de nueva tecnología, por ello se va a estudiar el cambio de algunos de ellos, como es el caso del arcón frigorífico, que se encuentra todo el día

conectado e implica un impacto mayor.

Para todos los casos se ha tratado de encontrar equipos de características y marcas similares, para no alterar en demasía los lugares donde se encuentran, bien por espacio, bien por confianza en ciertas marcas.

- Arcón congelador: en primer lugar, se busca cambiar el modelo que se encuentra actualmente, de marca Liebherr, con 334L y 140W (*Anexo IV*).

Se ha encontrado en la web de la empresa Worten [16], el modelo de la misma marca Liebherr GTP 4656, de la antigua clase A+++ y que posee un consumo anual etiquetado y de valor 175 kWh/año.



Ilustración 47. Arcón congelador para MAE 5.

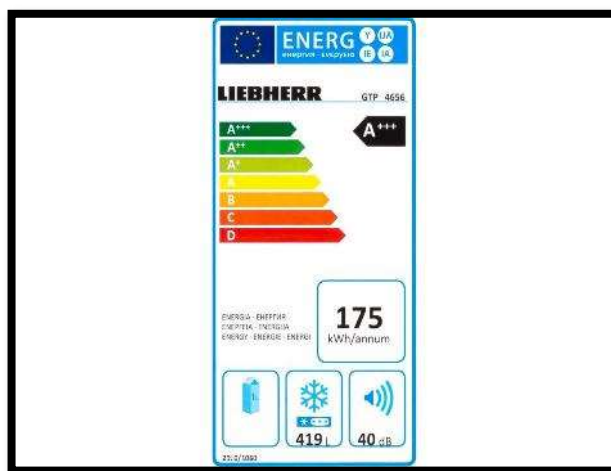


Ilustración 48. Clase de eficiencia energética del arcón congelador MAE 5.

Tabla 45. Arcón congelador actual.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Capacidad (L)	Cons. Anual (kWh)	Potencia EP (W)
Arcón congelador actual	140	334	735.84	84

Por tanto, se tendrían los siguientes valores, siendo la “Potencia EP” la introducida en EnergyPlus:

Tabla 46. Comparativa arcón congelador.

Inventario del equipamiento eléctrico				
Equipo	Potencia teórica (W)	Capacidad (L)	Cons. Anual (kWh)	Potencia EP (W)
Arcón congelador actual	140	334	735.84	84
Arcón congelador MAE 5	20	419	175	12

- Minihorno: en segundo lugar, se busca cambiar el modelo que se encuentra actualmente, de marca Orbegozo, modelo HO 810 A, de 800W (*Anexo IV*).

Se ha encontrado en la web de Orbegozo [17], el modelo HO 980, con potencia 650W.



Ilustración 49. Minihorno para MAE 5.

Tabla 47. Minihorno actual.

Inventario del equipamiento eléctrico			
Equipo	Potencia teórica (W)	Cons. Anual aprox. (kWh)	Potencia EP (W)
Minihorno actual	800	70.08	24

Por tanto, se tendrían los siguientes valores, siendo la “Potencia EP” la introducida en EnergyPlus:

Tabla 48. Comparativa minihorno.

Inventario del equipamiento eléctrico			
Equipo	Potencia teórica (W)	Cons. Anual aprox. (kWh)	Potencia EP (W)
Minihorno actual	800	70.08	24
Minihorno MAE 5	650	56.94	19.5

- Freidora: en tercer lugar, se busca cambiar el modelo que se encuentra actualmente, de marca DeLonghi, modelo F28311, de 1800W (*Anexo IV*).

Se ha encontrado en la web de Taurus [18], el modelo Professional 2, con potencia 1700W.



Ilustración 50. Freidora para MAE 5.

Tabla 49. Freidora actual.

Inventario del equipamiento eléctrico			
Equipo	Potencia teórica (W)	Cons. Anual aprox. (kWh)	Potencia EP (W)
Freidora actual	1800	157.68	54

Por tanto, se tendrían los siguientes valores, siendo la “Potencia EP” la introducida en EnergyPlus:

Tabla 50. Comparativa freidora.

Inventario del equipamiento eléctrico			
Equipo	Potencia teórica (W)	Cons. Anual aprox. (kWh)	Potencia EP (W)
Freidora actual	1800	157.68	54
Freidora MAE 5	1700	148.92	51

Tabla 51. Ahorro MAE 5.

EQUIPOS (kWhe)	
BASE	4842.21
MAE 5	4190.38
AHORRO APROX.	651.83
AHORRO CON MAE 5 (%)	13.46

4.6. MAE 6: Se añaden regletas

Como ya se comentó en las conclusiones generales, el IDAE, estima en un 10.7% el consumo que produce el Standby de los aparatos eléctricos. Por ello, y de una forma sencilla, existe la posibilidad de ahorrar energía en este sentido.

Esto se puede conseguir mediante algunos enchufes y regletas que hay en el mercado, que poseen interruptores para cortar la corriente aguas abajo de donde se encuentran, pudiendo cortarse la corriente de aparatos individualmente o en conjunto, sin tener que andar enchufando o desenchufando los mismos. Estas regletas son de estos tipos:



Ilustración 51. Regleta grande con interruptores individuales.



Ilustración 52. Regleta pequeña con interruptor general.

Para esto, se van a instalar regletas como las anteriormente mostradas en los puntos donde se encuentren equipos que van a estar conectados a red continuamente, pero que no necesitarían estarlo cuando se hayan en desuso, como el caso de televisiones, ordenadores, plancha, microondas, hornillo, etc.

Así, de modo orientativo, con el valor mencionado con anterioridad, se va a calcular unas cifras en torno a las que se produciría ahorro al llevar a cabo esta mejora:

Tabla 52. Consumo de equipos base.

EQUIPOS (kWhe)	
ENERO	405.79
FEBRERO	372.77
MARZO	406.9
ABRIL	394.6
MAYO	405.79
JUNIO	395.7
JULIO	421.89
AGOSTO	406.35
SEPTIEMBRE	411.25
OCTUBRE	405.79
NOVIEMBRE	395.15
DICIEMBRE	420.23
TOTAL (kWh/año)	4842.21

Esto supone respecto al modelo base:

Tabla 53. Ahorro con MAE 6.

EQUIPOS (kWhe)	
BASE	4842.21
AHORRO APROX (%)	10.7
AHORRO CON MAE 6 (kWh/año)	518.12

Observando los cálculos realizados, hay que tener en cuenta que estos resultados serán algo menores debido a que hay elementos que si deben estar las 24 horas funcionando y otros que no se pueden desconectar tan fácilmente como el caso del horno o la placa de inducción. Aún con esta consideración, es visible que de ser cierta la afirmación dada por el IDAE y los cálculos realizados, con la simple instalación de regleta, estaríamos ahorrando al año aproximadamente lo equivalente a un mes de consumo.

4.7. MAE 7: Cambio de luces

Se ha detectado en un par de puntos de la vivienda, unas posibles pequeñas mejoras respecto a los puntos de luz de esta.

En primer lugar, reducir el número de bombillas que se encuentran en el salón, separadas en dos lamparas colgantes, con cinco y tres bombillas LED cada una y con una potencia total de 56W, como ya se ha visto en el apartado sobre iluminación.

Se ha propuesto el cambio de dichas lamparas, por luces también tipo LED del tipo que ya se encuentran en la habitación número dos, con una potencia de 18W, que se situaran en los mismos puntos donde se encontraban las lamparas y que producen una iluminación incluso superior a esta, ya que muchos de los LED que se encuentran en las bombillas, se encuentran obstaculizados por la propia envoltente metálico de las bombillas que posee la lampara.

En segundo lugar, en el baño número dos, tenemos dos bombillas tipo LED, de 7W y 4.5W cada una, poseyendo un color blanco más cálido y que se adapta mejor al cuarto de baño la bombilla de menor consumo.

Por tanto, se ha propuesto la sustitución de la bombilla de 7W por otra de 4.5W, que además de proporcionar una luz mas homogénea en la estancia, consume aún menos.

Así pues:

Tabla 54. Mejora luces MAE 7.

	Zona	Pot. U (W)	Nº	Pot. T (W)	Tipo de bombilla	Tipo de luminaria
ACTUAL	Z03-SALON	7	8	56	LED	Suspended
MAE 7	Z03-SALON	18	2	36	LED	Recessed
ACTUAL	Z07-BAÑO2	7 y 4.5	2	11.5	LED	Suspended
MAE 7	Z07-BAÑO2	4.5	2	9	LED	Suspended

Tabla 55. Ahorro con MAE 7.

	ILUMINACIÓN (kWhe)
BASE	345
MAE 7	270.51
AHORRO (%)	21.59

5 CONCLUSIONES

Tras el análisis de las mejoras y del modelo térmico base de la vivienda, se van a obtener conclusiones y observaciones finales sobre el proyecto.

En primer lugar, la toma de datos inicial sobre la vivienda ha resultado compleja.

La orientación de la vivienda y la descripción de esta han sido llevadas a cabo mediante softwares externos, aunque son fuentes fiables, por lo que el grado de inexactitud es muy bajo. Para el caso del archivo climático, puede existir alguna diferencia, aunque no notable, al ser este el correspondiente a Málaga, encontrándose el municipio en el que se ubica el estudio a 90 km de esta, aunque sin un cambio climatológico importante (Costa del Sol).

Todas las mediciones se han debido obtener manualmente, al no poseerse planos ni datos sobre la vivienda, por lo que estas pueden conllevar un grado de inexactitud, aunque bajo.

Los datos sobre materiales y las propias construcciones han debido de tomarse también o bien de fuentes internas a la vivienda que por pasadas obras conocían el estado de algunas de sus partes, o bien de fuentes externas como pueden ser arquitectos o técnicos. Toda esta información implantada puede conllevar también un grado de inexactitud, aunque también bajo.

Para el caso de la ocupación, se han tomado perfiles que pueden no corresponderse exactamente al de los ocupantes, en cualquier caso, se han tomado perfiles siempre hacia el lado desfavorable. Estos perfiles pueden conllevar un grado de inexactitud medio.

El caso de la ventilación ha sido el apartado más difícil de analizar, ya que la obtención de resultados, incluso de suposiciones, es muy compleja, debido a que existen incluso pruebas complejas como es el caso del “Blower Door Test”, que analiza las infiltraciones en la vivienda mediante unas pruebas de estanqueidad de esta, ajustando la presión en el interior mediante ventiladores. Debido a que esto no es fácil de analizar, y que el mismo valor depende de muchos factores, las suposiciones que se han tenido en cuenta pueden conllevar un grado de inexactitud medio-alto. En cualquier caso, ha sido por esto mismo uno de los aspectos más a reforzar, con una medida de ahorro energética dedicada a ello, y alguna otra en relación con el mismo.

Para el caso de la iluminación, se han tomado valores exactos de las diferentes estancias, aunque se han obviado aparatos auxiliares como pueden ser flexos o lamparas pequeñas en mesitas de noche, luces en la campana de la cocina o lamparas de pie. Aún así, estos aparatos no suelen llevar un peso importante en el uso de iluminación en la misma.

Respecto a la masa interna, se han realizado suposiciones simplificando el mobiliario a muebles de madera, debido a que esto tampoco es objeto del presente estudio. En un estudio más dedicado a este tema, se pueden analizar los distintos materiales y volúmenes encontrados, como son alfombras, cortinas, sillones, etc. Estos conllevan un peso dentro de la masa interna de la vivienda diferente al que producen los muebles de madera, así como otros muebles hechos de cristal.

Sobre el ACS, como se ha comentado durante el presente proyecto, no se encuentra documentación de la instalación que existe, así como que se encuentra en una ubicación de difícil acceso. En cualquier caso, existe un calentador eléctrico, en el que su interruptor se haya durante el año siempre en posición manual, desactivado siempre su modo automático. Por tanto, debido a la climatología, su uso es infimo, obteniendo durante la gran mayoría del año el agua caliente de las propias placas solares instaladas ya, por lo que no involucran un consumo energético en sí para la vivienda, fuera aparte de que es consumido lo producido de manera renovable.

Respecto a la climatización, es una parte que se encuentra inexistente actualmente, aunque con un gran interés de cara al futuro. Se ha supuesto un sistema de climatización ideal, que no va a llevar un grado de inexactitud medio, así como la inclusión en el modelo de la climatización de cocina y baños que habitualmente no se suele dar. Aún así, sirve como medidor de una demanda tanto de refrigeración como de calefacción que es vital conocer.

Por ultimo, respecto al equipamiento eléctrico, se ha procedido a obtener datos conforme a las placas características de los mismos. Estos datos obtenidos o calculados pueden diferir del consumo real de los mismos,

bien sea por su uso o por su rango de potencia. En cualquier caso, se ha intentado aproximar esto mediante una tabla con diversos coeficientes encontrada en su correspondiente apartado.

Se ha intentado llevar a cabo mediciones sobre el equipamiento utilizando contadores de potencia, aunque la idea termino siendo desechada, debido al fallo de uno de ellos y a la antigüedad de otro, que nos impedía obtener resultados más exactos de los que se pueden obtener y calcular de sus placas.

Para terminar el presente informe, se van a recopilar los diferentes resultados obtenidos de las mejoras llevadas a cabo, como resumen y como fuente de comentarios adicionales a los mismos. Como ya se ha comentado anteriormente, es importante conocer que todos los resultados de ahorros vienen representados frente al caso base de esta.

Tabla 56. Resumen de las mejoras propuestas.

	CALEFACCIÓN (kWhe)	REFRIGERACIÓN (kWhe)	EQUIPOS (kWhe)	ILUMINACIÓN (kWhe)
BASE	1036.25	558.27	4842.21	345
MAE 1 (AISLAMIENTO)	850.75	593.92	-	-
AHORRO	17.9%	-6.39%	-	-
MAE 2 (CERRAMIENTOS)	666.65	637.63	-	-
AHORRO	35.67%	-14.21%	-	-
MAE 3 (FREE COOLING)	1037.18	502.75	-	-
AHORRO	-0.09%	9.94%	-	-
MAE 4 (TOLDOS)	1183.80	502.75	-	-
AHORRO	-14.24%	18.20%	-	-
MAE 5 (EFICIENCIA EQUIPOS)	-	-	4190.38	-
AHORRO	-	-	13.46%	-
MAE 6 (STANDBY EQUIPOS)	-	-	4324.09	-
AHORRO	-	-	10.70%	-
MAE 7 (CAMBIO ILUMINACIÓN)	-	-	-	270.51
AHORRO	-	-	-	21.59%

Para concluir, hay que recalcar que todas las medidas, aunque han sido estudiadas individualmente, pueden llevarse a cabo de manera conjunta y ser introducidos en EnergyPlus para su simulación de forma sencilla, obteniendo resultados complementarios de ahorro del conjunto de medidas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
- [2] <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- [3] https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es
- [4] <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>
- [5] <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx>
- [6] <https://es.scribd.com/document/482440216/MATERIALES-ATECYR-HE1>
- [7] <http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE-55-2010.pdf>
- [8] http://www6.mityc.es/aplicaciones/CE3X/Manual_usuario%20CE3X_05.pdf
- [9] https://www.apabcn.cat/Documentacio/areatecnica/legislacio/CTE_DB_HE.pdf
- [10] UNE-EN 12207:2017
- [11] https://designbuilder.co.uk/helpv2/Content/_General_lighting.htm
- [12] <https://computerhoy.com/noticias/hardware/cuanto-consumen-aparatos-electricos-standby-59126>
- [13] <https://recursos.es.weber/descarga-guia-sate-webertherm>
- [14] <https://ecoficiente.es/infiltracioneshe/>
- [15] <https://angelsinocencio.com/ventilacion-nocturna-o-free-cooling/>
- [16] <https://www.worten.es/productos/>
- [17] <https://orbegozo.com/productos/cocina/hornos/horno-electrico-ho-980/>
- [18] <https://taurus-home.com/producto/professional-2/>
- [19] <https://idaikin.es/catalogos/tarifa-daikin-abril-2021.pdf>
- [20] https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_16_Climatizacion_Guia_Tecnica_Instalaciones_Calefaccion_Individual__f1cefb6.pdf
- [21] <https://energyplus.net/weather>
- [22] https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_BIENESTAR_TERMICO_EN_UN_ESPACIO_CLIMATIZADO_2_articulo_ASV_3725727c.pdf
- [23] EnergyPlus I/O Reference, <https://energyplus.net>

- Anexo I: Planos de la vivienda:

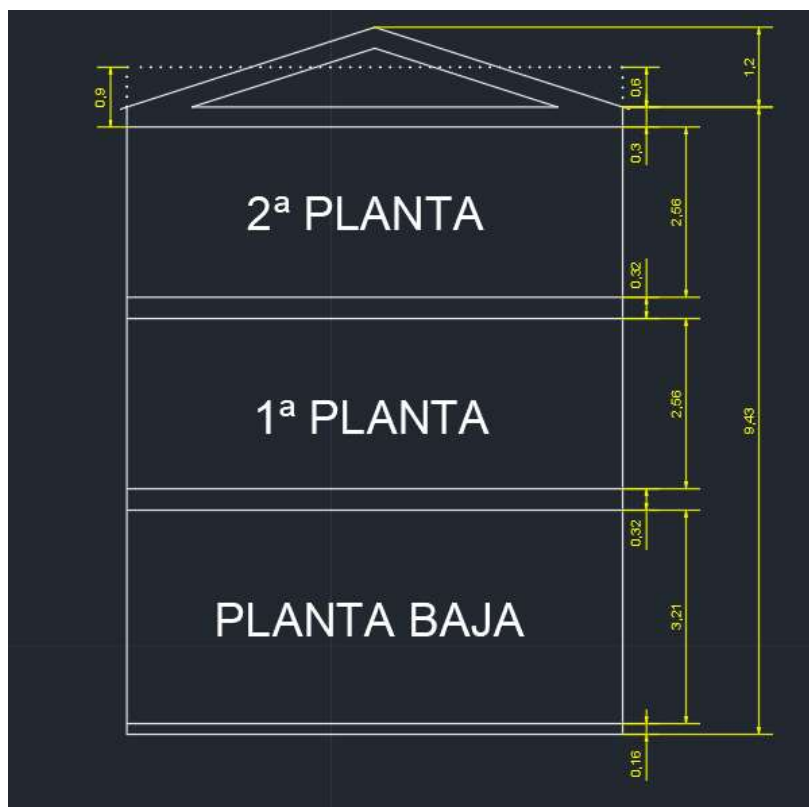


Ilustración 53. Plano perfil de la vivienda.

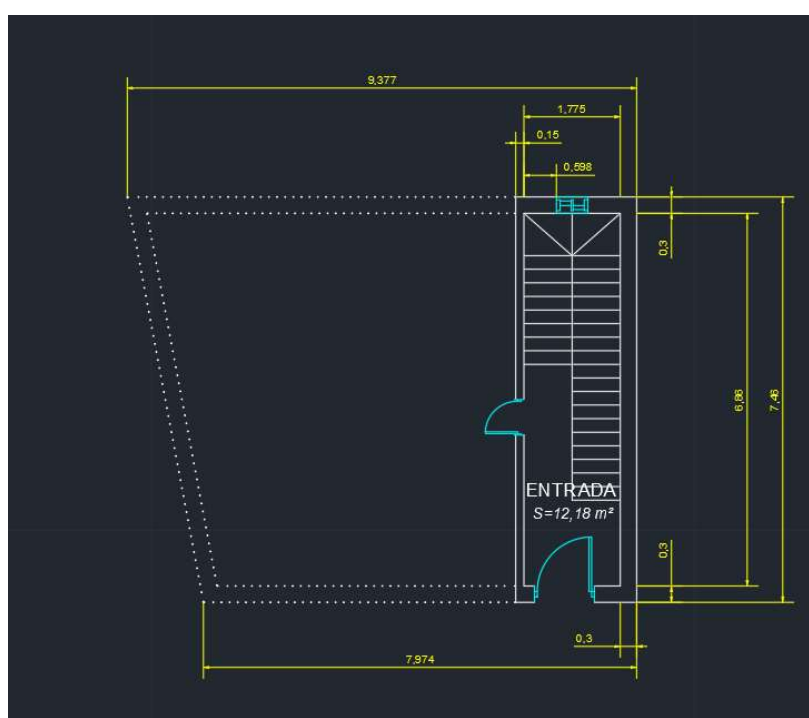


Ilustración 54. Plano planta baja de la vivienda.

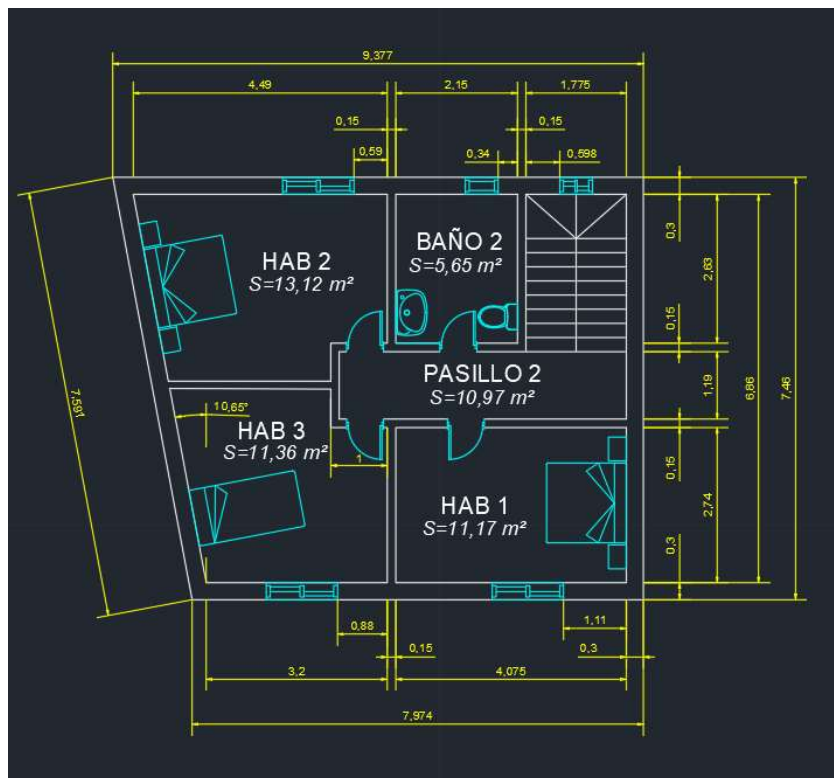


Ilustración 55. Plano primera planta de la vivienda.

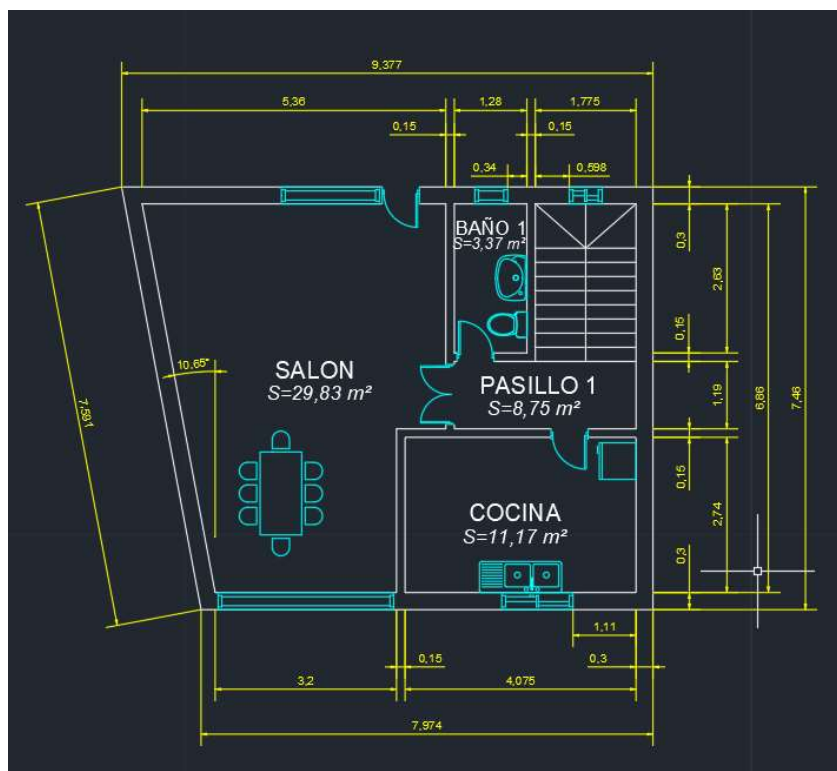


Ilustración 56. Plano segunda planta de la vivienda.

- *Anexo II: Fotografías de la vivienda y su modelo en SketchUp:*

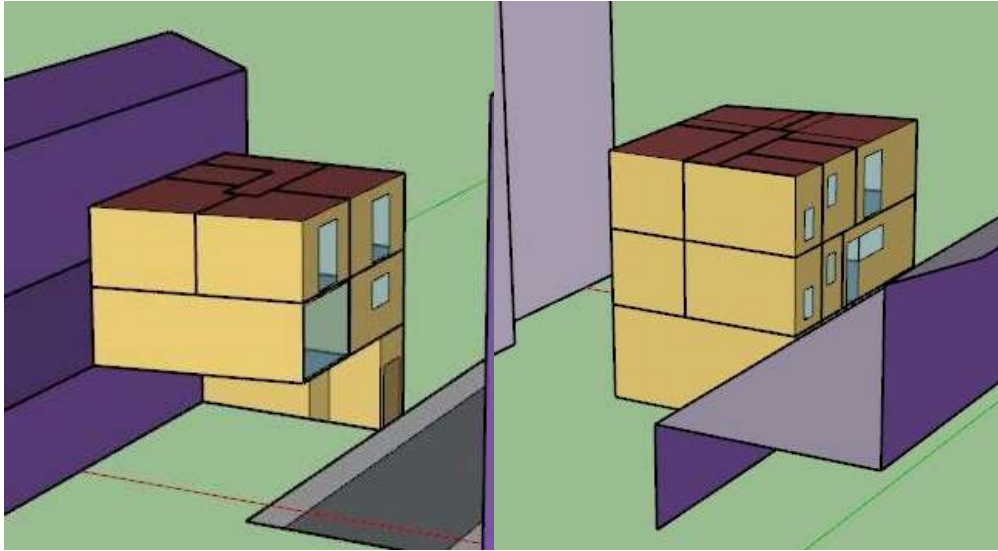


Ilustración 57. Exterior de la vivienda en SketchUp.



Ilustración 58. Fotografías del exterior de la vivienda.



Ilustración 59. Fachada este de la vivienda.



Ilustración 58. Fachada oeste de la vivienda.

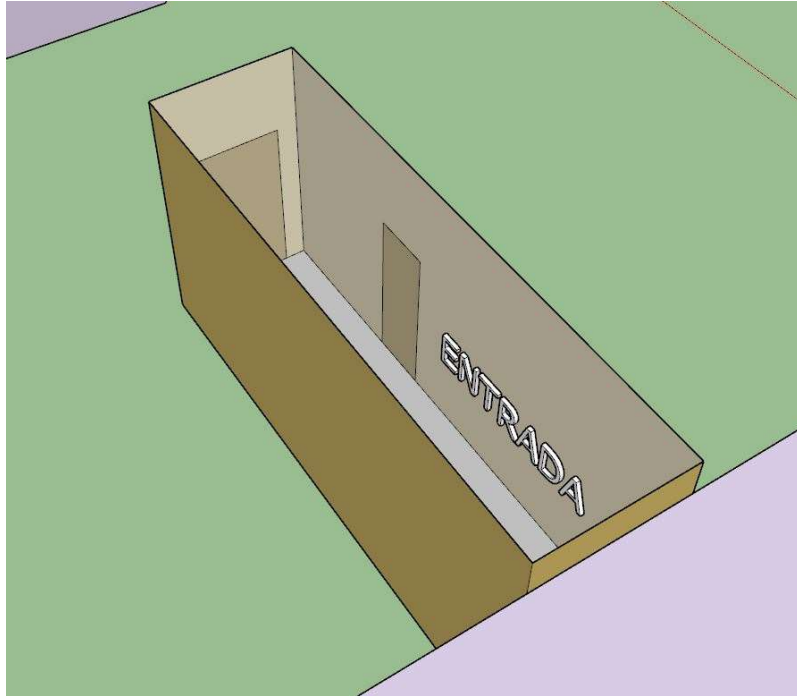


Ilustración 59. Planta baja en SketchUp.

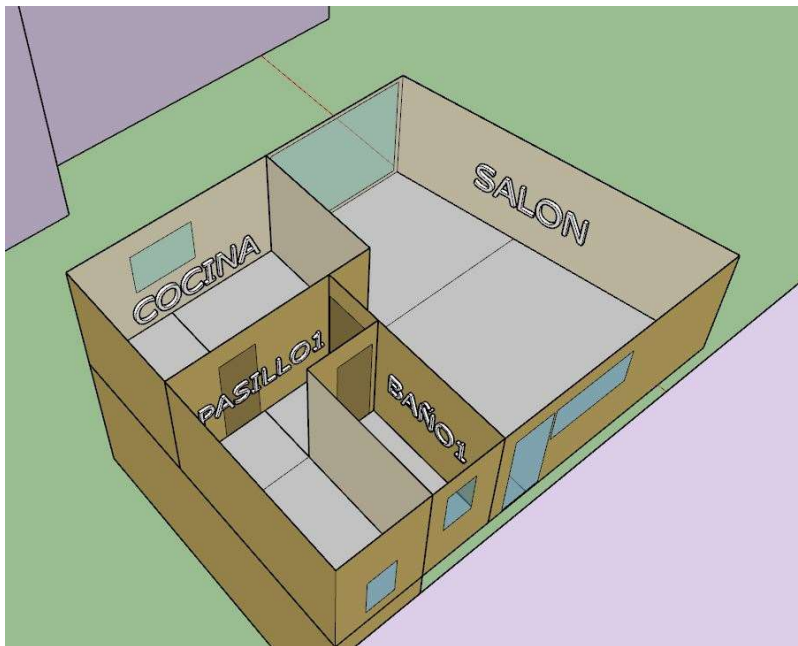


Ilustración 60. Primera planta en SketchUp.

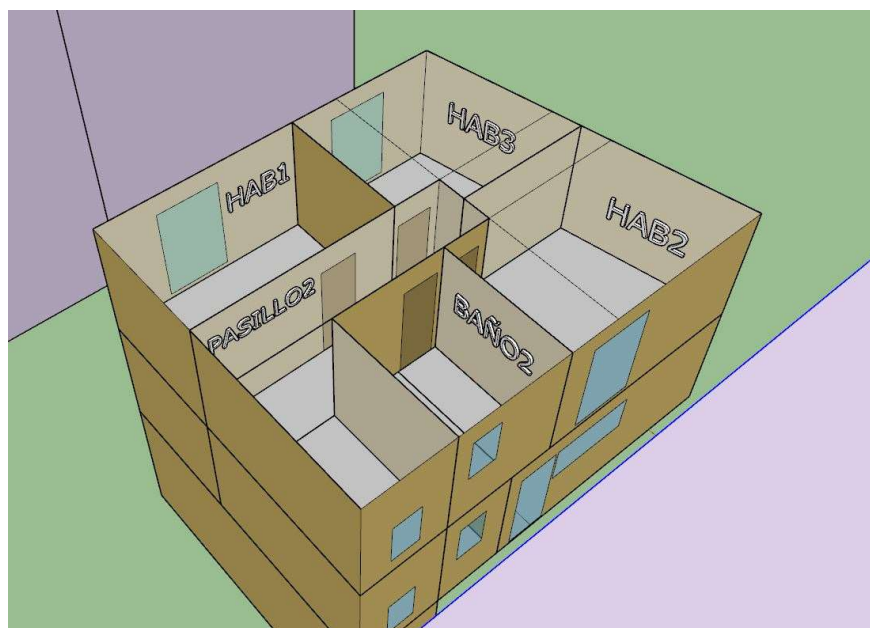


Ilustración 61. Segunda planta en SketchUp.



Ilustración 62. Fotografías de la entrada de la vivienda.



Ilustración 63. Fotografía del salón 1.



Ilustración 64. Fotografía del salón 2.



Ilustración 65. Fotografía del ventanal del salón.



Ilustración 68. Fotografía baño 1.



Ilustración 69. Fotografías de la cocina.



Ilustración 66. Fotografías del pasillo 1 y escaleras.



Ilustración 67. Fotografías del pasillo 2.



Ilustración 68. Fotografía del baño 2.



Ilustración 69. Fotografía de la habitación 1.

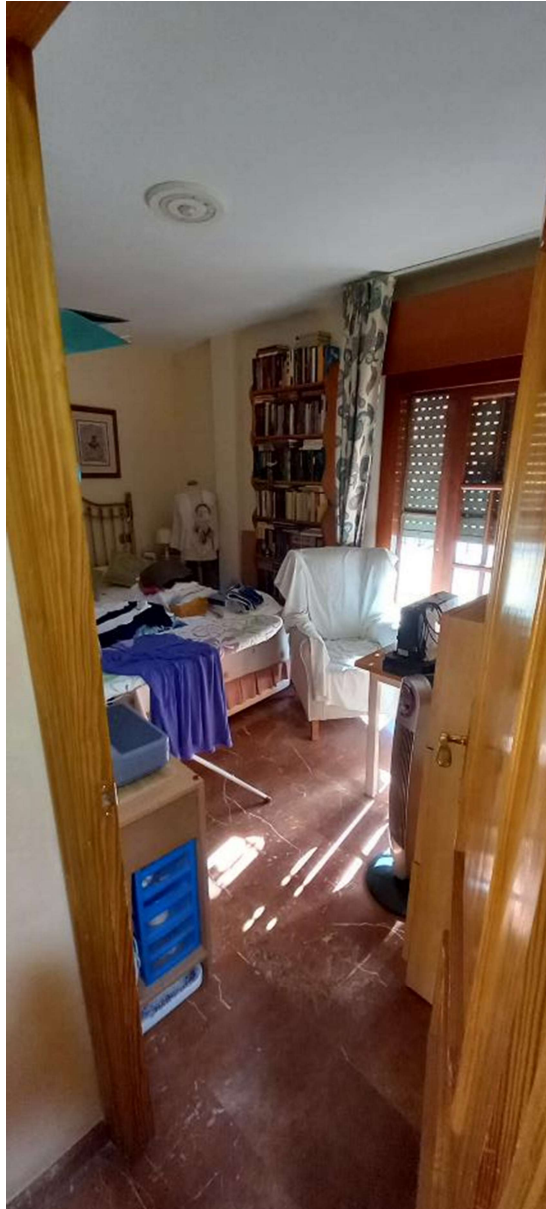


Ilustración 70. Fotografía de la habitación 2.



Ilustración 71. Fotografía de la habitación 3.

- *Anexo III: Iluminación:*



Ilustración 72. Bombilla de 5W (Baño 1).



Ilustración 73. Luces del baño 1 con 3 bombillas de 5W.



Ilustración 78. Lampara de la cocina (8W).



Ilustración 79. Bombilla de 7W (Baño 2, salón, baño 2 y habitación 3).



Ilustración 74. Lámpara 1 del salón con 5 bombillas de 7W cada una.



Ilustración 75. Lámpara 2 del salón con 3 bombillas de 7W cada una.



Ilustración 76. Bombilla de 4,5W (Baño 2).



Ilustración 77. Luz de 18W de la habitación 2.



Ilustración 78. Luz de 20W de la habitación 1.



Ilustración 79. Lampara con bombillas de 7W de la habitación 3.

- *Anexo IV: Equipos eléctricos:*



Ilustración 80. Cortadora.



Ilustración 81. Exprimidor.



Ilustración 88. Freidora.

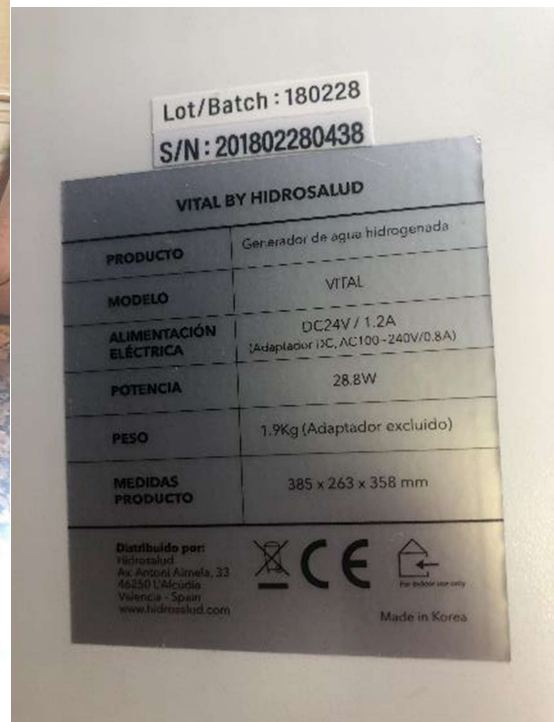


Ilustración 89. Generador de agua hidrogenada.



FICHA / FICHA / BROCHURE / FICHE / DATENBLATT

Fabricante	Fabricante	Manufacturer	Fabricant	Hersteller	TEKA	
Modelo	Modelo	Model	Modèle	Modell		HI-735 HI-735ME
Clase de eficiencia energética, en una escala que abarca de A (más eficiente) a G (menos eficiente).	Classe de efficacité énergétique, numa escala de A (eficiente) a G (ineficiente).	Energy efficiency class on a scale of A (more efficient) to G (less efficient).	Classement selon son efficacité énergétique sur une échelle allant de A (économique) à G (peu économique).	Energieeffizienzklasse auf einer Skala von A (niedriger Verbrauch) bis G (hoher Verbrauch).		A
Función de calentamiento.	Função de aquecimento.	Heating function.	Fonction chauffage.	Beheizung.		
Calentamiento convencional.	Convencional.	Conventional.	Classique.	Konventionelle Beheizung.	←	
Convección forzada.	Convecção forçada de ar.	Forced air convection.	Convection forcée.	Umluft / Heißluft.		
Consumo de energía.	Consumo de energia.	Energy consumption.	Consommation d'énergie.	Energieverbrauch.		
Calentamiento convencional.	Convencional.	Conventional.	Classique.	Konventionelle Beheizung.		0,79 Kwh
Convección forzada.	Convecção forçada de ar.	Forced air convection.	Convection forcée.	Umluft / Heißluft.		0,85 Kwh
Volumen neto (litros).	Volume útil (litros).	Usable volume (litres).	Volume utile (litres).	Netto volumen (liter).		52
Tipo: Pequeño Medio Grande	Tipo: Pequeno Médio Grande	Size: Small Medium Large	Type: Faible volume Volume moyen Grand volume	Type: Klein Mittel Groß	←	
Tiempo de cocción con carga normal.	Tempo de cozedura da carga padrão.	Time to cook standard load.	Temps de cuisson en charge normale.	Kochzeit bei Standardbeladung.		
Calentamiento convencional.	Convencional.	Conventional.	Classique.	Konventionelle Beheizung.		41 min.
Convección forzada.	Convecção forçada de ar.	Forced air convection.	Convection forcée.	Umluft / Heißluft.		45 min.
Superficie de cocción.	Zona de cozedura.	Baking area.	Surface de cuisson.	Backfläche.		1300 cm²
Ruido (dB (A) re 1 pW).	Nível de ruído dB(A) re 1 pW.	Noise (dB (A) re 1 pW).	Bruit (dB (A) re 1 pW).	Geräusch (dB (A) re 1 pW).		40

Ilustración 82. Horno.



Ilustración 83. Microondas.



Ilustración 92. Mini horno.



Ficha de información del producto

REGLAMENTO DELEGADO (UE) 2019/2016

Nombre o marca del proveedor		Miele		
Dirección del proveedor		Carl-Miele-Straße 29, 33332 Gütersloh, DE		
Identificador del modelo		KFN 29162 D edl/cs Series 120		
Tipo de aparato de refrigeración				
Aparato de bajo nivel de ruido	no	Tipo de diseño	Independiente	
Armarios para la conservación de vinos	no	Otros aparatos de refrigeración	sí	
Parámetros generales del producto				
Parámetro		Valor	Parámetro	Valor
Dimensiones totales (milímetros)	Altura	2011	Volumen total (dm³ o l)	344
	Anchura	600		
	Profundidad	657		
IEE		100.0	Clase de eficiencia energética	E
Ruido acústico aéreo emitido (dB(A) re 1 pW)		40	Clases de ruido acústico aéreo emitido	C
Consumo de energía anual (kWh/a)		251	Clase climática ¹⁾	N, SN, ST, T
Temperatura ambiente mínima (°C) en la que puede funcionar el aparato de refrigeración		10	Temperatura ambiente máxima (°C) en la que puede funcionar el aparato de refrigeración	43
Ajuste de invierno		no		
Parámetros del compartimento				
Tipos de compartimento		Parámetros del compartimento y valores		

Ilustración 84. Frigorífico.

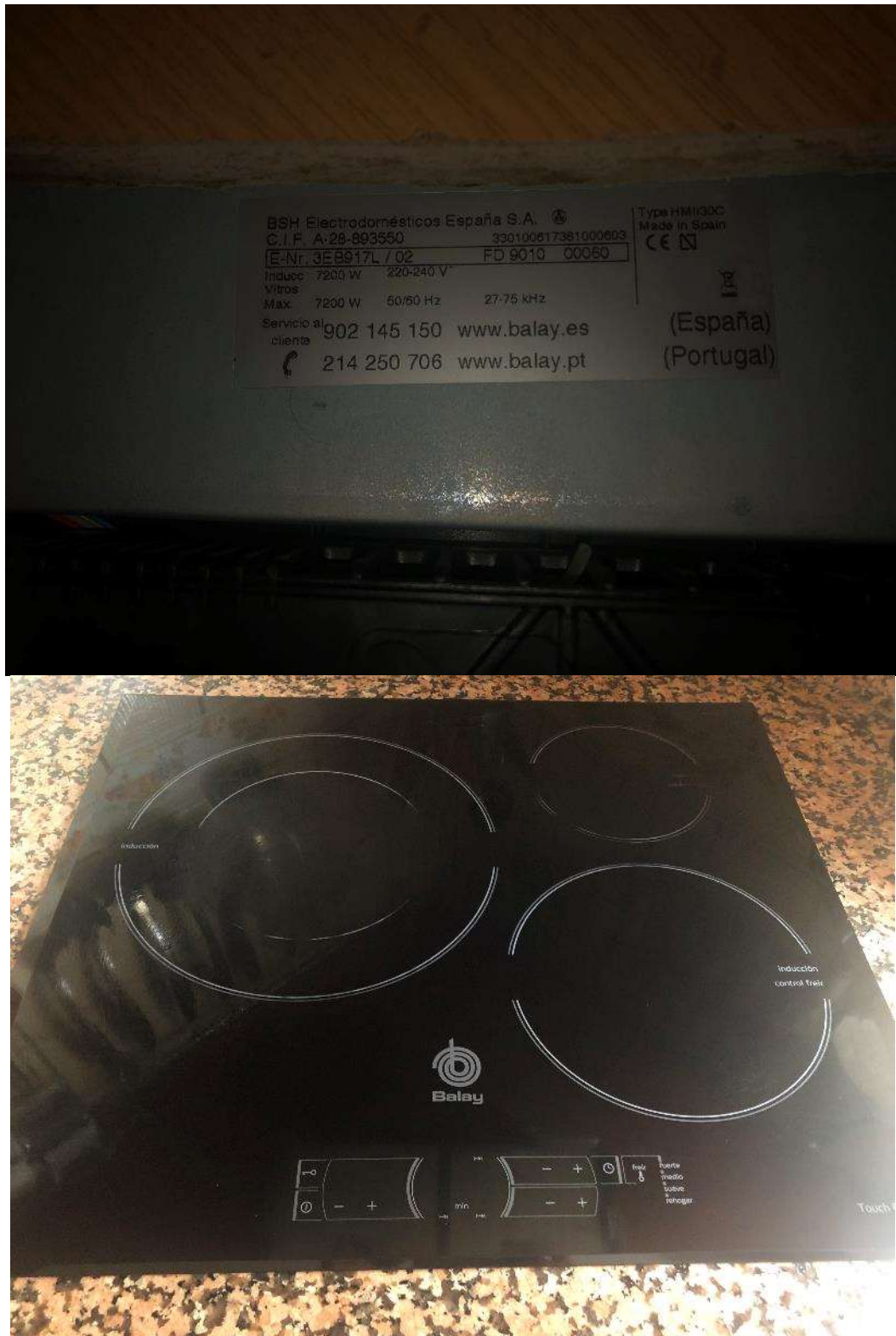


Ilustración 85. Placa de inducción.

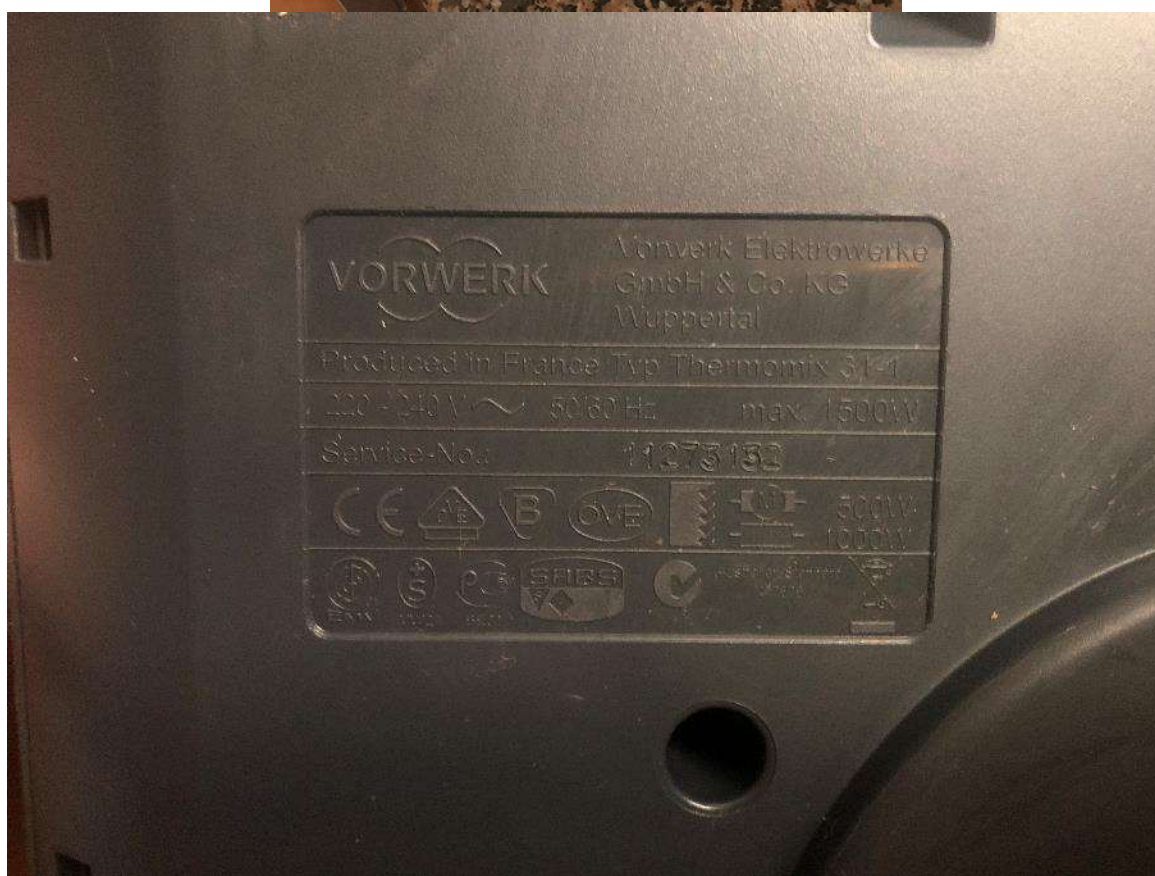


Ilustración 86. Thermomix.



Ilustración 87. Arcón frigorífico.

Lavadora Samsung WW90T4540TE/EC Clase D 9 kg 1400 rpm

Clasificación D de eficiencia energética y 1400 rpm de velocidad de centrifugado. Cuel

[Descargar ficha energética](#)

(Alt x An x Pr) mm	850 x 600 x 550	Ancho c
Capacidad de Lavado	9 Kg	Clase En
Displays	Si	Rpm
SmartHome	No	Tipo Inst

- Ver menos características del producto

- Capacidad de lavado (kg): 9.0 kg
- Clase de Eficiencia Energética: D
- Consumo Anual de Energía: 196
- Consumo de agua (anual): 9400 L
- Potencia sonora (lavado): 53 dB
- Potencia sonora (centrifugado): 74 dB



Ilustración 88. Lavadora.



Ilustración 98. Maquinilla y secadora.



Ilustración 99. TV de la hab 1.



Ilustración 89. Ventilador de la hab 1.



Ilustración 90. Máquina de coser.



Ilustración 91. Plancha.

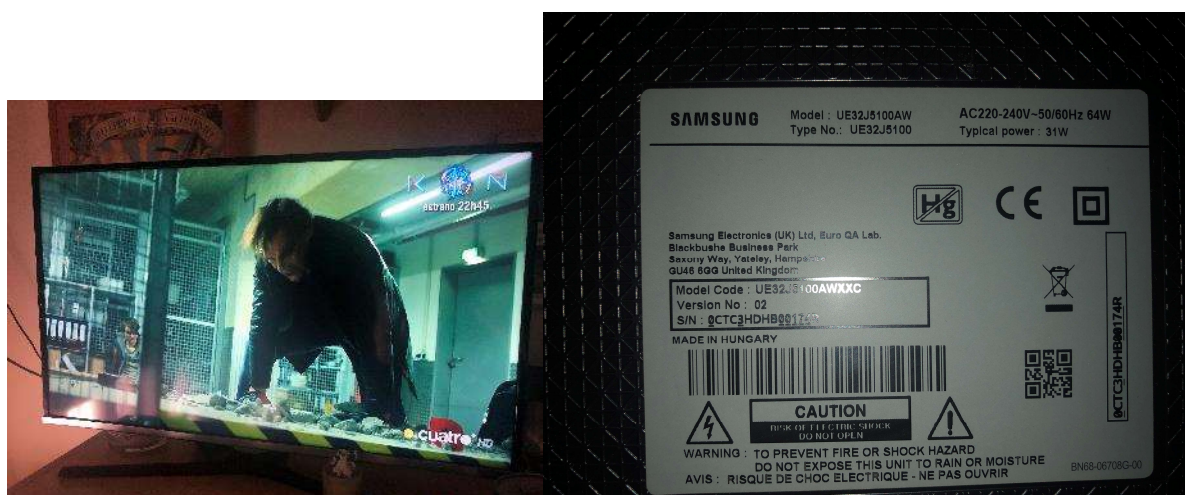


Ilustración 92. TV de la hab 2.



Ilustración 93. Ventilador de torre.



Ilustración 94. Flexo y cargador.



Ilustración 95. Ordenador portátil.



Ilustración 96. TV 1 de la hab 3.



Ilustración 97. TV 2 de la hab 3.



Ilustración 98. Ventilador de la hab 3.



Ilustración 99. Equipos de audio y video del salón.



Ilustración 100. Ordenador de sobremesa del salón.



Ilustración 101. TV del salón.

- **Anexo V: Cálculos realizados:**

Los cálculos han sido realizados en Excel